

1496

К. Ф. КУЗНЕЦОВ,
Г. М. МЕЙТУВ

ГЕОХИМИЯ
РЕДКИХ
ЭЛЕМЕНТОВ
В СВИНЦОВО-
ЦИНКОВЫХ
МЕСТОРОЖДЕНИЯХ
ВОСТОЧНОГО
ЗАБАЙКАЛЬЯ

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

МИНИСТЕРСТВО ГЕОЛОГИИ СССР

ИНСТИТУТ
МИНЕРАЛОГИИ,
ГЕОХИМИИ
И КРИСТАЛЛОХИМИИ
РЕДКИХ
ЭЛЕМЕНТОВ

530.4
86

К. Ф. КУЗНЕЦОВ,
Г. М. МЕЙТУВ

ГЕОХИМИЯ
РЕДКИХ ЭЛЕМЕНТОВ
В СВИНЦОВО-
ЦИНКОВЫХ
МЕСТОРОЖДЕНИЯХ
ВОСТОЧНОГО
ЗАБАЙКАЛЯ

19014

9641
1496



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»
МОСКВА 1967



В книге рассматривается распределение редких элементов-спутников свинцово-цинковых руд в пяти важнейших рудных районах Восточного Забайкалья. На основании фактического материала доказывается большая роль в накоплении редких элементов структурно-литологических факторов. Приведены данные о содержаниях и распределении селена, теллура, индия, кадмия, галлия и таллия, а также дана характеристика их геометрического поведения в процессе рудообразования. Изучено влияние на накопление редких элементов глубины формирования руд, характера рудовмещающих структур и способа отложения рудного вещества.

Ответственный редактор

*доктор геол.-мин. наук,
профессор Ф. И. ВОЛЬФСОН*

ПРЕДИСЛОВИЕ

За последние 10—15 лет в изучении геологии рудных месторождений Советского Союза достигнуты значительные успехи. Об этом наглядно свидетельствуют результаты геологических и геохимических исследований свинцово-цинковых месторождений в различных рудоносных провинциях, особенностью которых является их комплексность. В этих исследованиях участвуют большие коллективы геологов-производственников и научных работников различного профиля, что способствует всестороннему развитию учения об условиях образования и закономерностях размещения полиметаллических месторождений.

Общий прогресс, достигнутый в нашей стране в познании геологии свинцово-цинковых месторождений, особенно ярко проявился на примере Восточного Забайкалья. Здесь с конца 40-х годов большие исследования проводятся геологами Читинского геологического управления, Нерчинского рудоуправления, ЗАБНИИ, ВСЕГЕИ, ИГЕМ, ИМГРЭ, ЦНИГРИ, Московского геологоразведочного института и Института цветных металлов и золота, Иркутского отделения ГИРЕДМЕТА и других организаций. В результате этих исследований существенно изменились наши представления о структурно-геологической позиции рудных районов, полей и месторождений. Появились новые данные о связи оруденения с магматизмом, о глубине формирования и вертикальном размахе оруденения, о структурно-морфологических особенностях рудных тел и месторождений, минеральном составе руд и геохимических особенностях связанных с ними редких элементов. В изучении трех последних вопросов большое участие приняли также Б. П. Санин, М. А. Свирский, В. В. Архангельская, О. П. Полякова, К. Ф. Кузнецов, Н. А. Читаева, Г. М. Мейтув, которые ряд лет работали по единой программе под руководством автора данного предисловия. Развивая и уточняя взгляды С. С. Смирнова по различным вопросам геологии и геохимии свинцово-цинковых месторождений Восточного Забайкалья, упомянутые авторы впервые основывали проведение геохимических исследований свинцово-цинковых руд и связанных с ними редких элементов на углубленном изучении геологического строения руд-

ных полей и месторождений, которое проводилось ими же и предшествовало специальным минералого-геохимическим работам.

На примере свинцово-цинковых месторождений Восточного Забайкалья геохимия редких элементов, развитых в различных сульфидах, впервые начала изучаться с учетом их нахождения в одних и тех же минералах, но проявленных в различных стадиях минерализации и в различных генерациях. Наряду с этим на примере свинцово-цинковых месторождений Восточного Забайкалья впервые начато выяснение зависимости концентрации редких элементов, входящих в состав руд, от структурных особенностей этих месторождений и состава вмещающих пород.

Упомянутые исследования помогли достаточно глубоко подойти к выяснению геохимических особенностей и условий образования месторождений и выявить ряд специфических черт, характерных для месторождений, находящихся в различных геологических условиях и представленных различными генетическими типами. Особенно существенная разница в геохимических особенностях редких элементов наметилась в двух районах Приаргунского полиметаллического пояса — Нерчинско-Заводском и Кличкинском, существенно отличающихся по своему геологическому строению, глубине формирования, температуре образования минеральных ассоциаций и минеральному составу.

Предлагаемая книга посвящена характеристике геохимии редких элементов этих двух районов. В первой главе после краткого изложения геологического строения и минерального состава руд, более подробные сведения о которых были опубликованы ранее, приведено обстоятельное изложение геохимии всех редких элементов, развитых в этих рудах.

Во второй главе дана подробная сравнительная характеристика геологического строения месторождений с описанием главнейших и вновь установленных Г. М. Мейтувом минералов руд месторождений Кличкинского района, после чего излагаются сведения о геохимии редких элементов, входящих в состав этих руд.

Анализ материалов, приведенных в этих двух главах, показывает исключительную важность геохимических исследований редких элементов, которые позволяют глубже подойти к пониманию геологического строения и условий образований изучаемых свинцово-цинковых месторождений.

В третьей главе, анализирующей геохимические особенности редких элементов в рудах свинцово-цинковых месторождений Восточного Забайкалья, К. Ф. Кузнецов наглядно показал, что в силу специфических геохимических свойств редкие элементы оказываются весьма чувствительными к изменению физико-химических условий рудообразования и что поэтому в комплекс работ, необходимых для углубленного изучения геологии месторождения, обязательно должны быть включены исследования по детальному изучению геохимии редких элементов.

На примере свинцово-цинковых месторождений Восточного Забайкалья авторам предлагаемой книги удалось рассмотреть не только поведение редких элементов в различных стадиях минерализации, но и показать изменение степени их концентрации в зависимости от геологических, физико-химических и геохимических условий рудообразования. Книга представляет значительный вклад в познание геохимии редких элементов свинцово-цинковых месторождений и мы не сомневаемся, что выход ее в свет будет положительно воспринят широкими кругами геологов, занимающихся поисками, разведками и изучением геологии и геохимии гидротермальных рудных месторождений.

Ф. И. Вольфсон

ГЕОХИМИЯ ТАЛЛИЯ, ИНДИЯ И СЕРЕБРА
В СВИНЦОВО-ЦИНКОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ
СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО ПРИАРГУНЬЯ

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ГЕОЛОГИИ
И МЕСТОРОЖДЕНИЯХ РАЙОНА

Северо-Восточное Приаргунье расположено в области перехода от древних складчатых структур палеозоя к молодой мезозойской депрессии, прослеживаемой вдоль долины р. Аргунь. В районе развита полоса осадочных пород, вытянутая в юго-западном направлении от пос. Нерчинский Завод до южных окрестностей пос. Горный Зерентуй, включающая, согласно новейшим представлениям В. Н. Козеренко и А. А. Локермана, три несогласно залегающих комплекса: 1) нижнепалеозойский, сложенный глинистыми алевролитами и серицито-хлоритовыми сланцами алтачинской свиты ($S_{m2} - O$), известняками и доломитами нерчинско-заводской свиты ($O - S_1$); 2) среднепалеозойский, представленный аргиллитами и кварцитами благодатской свиты (D_{1-2}); 3) мезозойский, к которому относятся два разобщенных выхода юрских песчаников, конгломератов и сланцев (J_{1-2}).

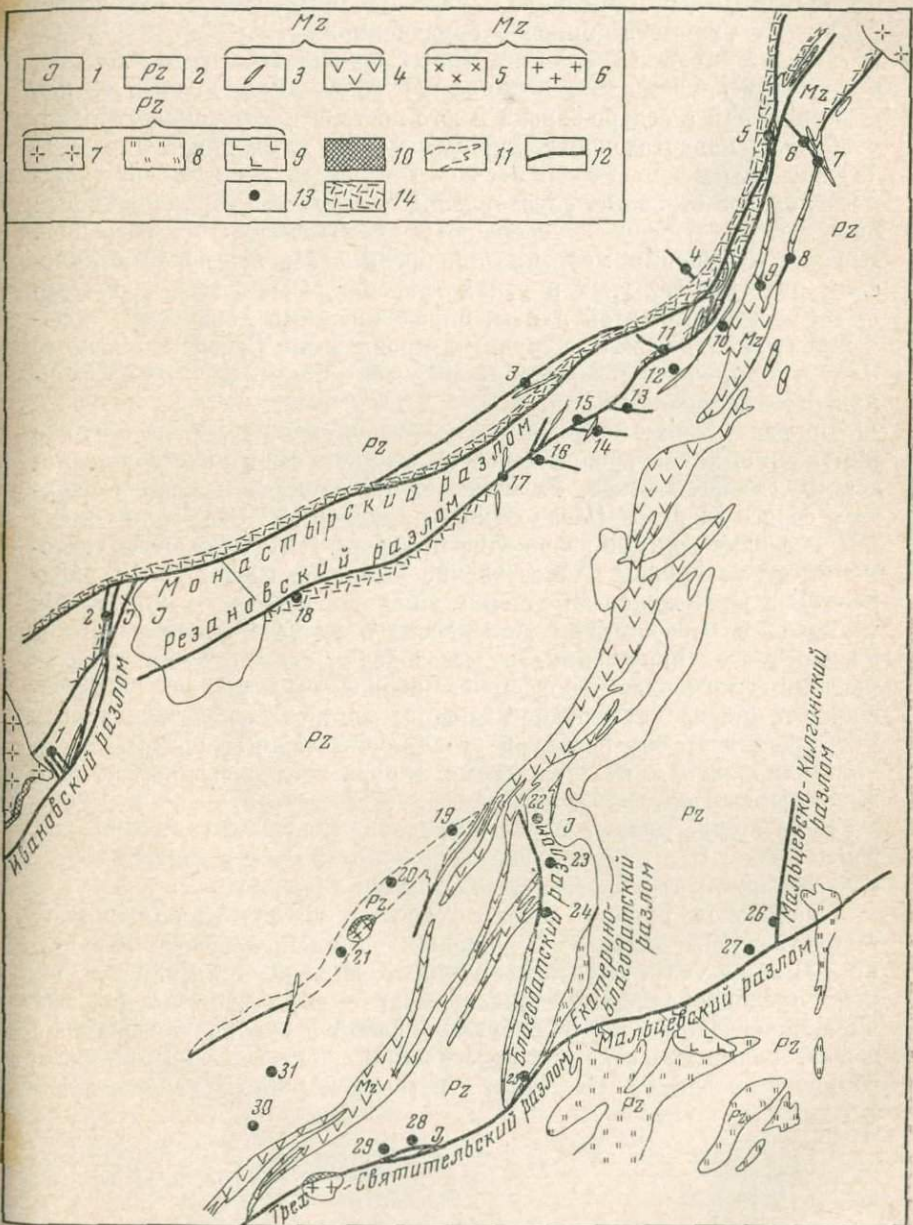
На западе породы нижнепалеозойского комплекса прорваны варисскими гранитоидами Кутомарского массива, на востоке — перекрыты меловыми осадочно-туфогенными отложениями Приаргунской депрессии.

Изверженные породы в пределах рассматриваемой территории имеют ограниченное развитие, но крайне различны по своим возрастным и петрохимическим особенностям. Среди них выделяются каледонские (?) гипабиссальные интрузивные тела порфиров, подвергшиеся интенсивному дислокационному метаморфизму; варисские гранитоиды, представленные Кирейским гранитным

Фиг. 1. Схема структурного контроля свинцово-цинковых рудных полей Нерчинско-Заводского района (Восточное Забайкалье).

Составил К. Ф. Кузнецов, 1957

1 — песчаники, сланцы и конгломераты; 2 — известняки и сланцы; 3 — дайки лампрофиров; 4 — кварцевые порфиры, плагиосиенит-порфиры и фельзит-порфиры; 5 — диориты (?); 6 — гранодиорит-порфиры (?); 7 — граниты; 8 — порфириоиды; 9 — порфириты; 10 — скарны; 11 — спасская гряда известняков; 12 — линии тектонических нарушений; 13 — свинцово-цинковые месторождения; 14 — зоны брекчирования
Рудные поля: Ивановское (1—2); Воздвиженско-Резановское (3—18); Спасское (19—21); Благодатское (22—25); Мальцевское (26—27); Трехсвятительское (28—31)



массивом и мелкими штоками диоритов и гранодиорит-порфиров, и верхнекеммерийские резко гипабиссальные трещинные интрузии гранит-порфиров, граносиенит-порфиров, кварцевых порфиров и лампрофиров. Последние наиболее широко распространены, а с самой поздней их серией — группой лампрофиров — тесно ассоциирует свинцово-цинковое оруденение.

Рудные поля Северо-Восточного Приаргунья¹ расположены в пределах подвижной тектонической зоны шириной около 8 км, ограниченной с северо-запада и юго-востока протяженными палеозойскими надвигами. Заключенная между ними плита нижнепалеозойских карбонатных и песчано-глинистых пород имеет сложное блоковое строение, обусловленное развитием меридиональных палеозойских сколов и северо-восточных мезозойских разрывов. Юрские отложения местами приобрели здесь форму тектонических пластин, зажатых в узких грабенах. Основными структурными элементами этой плиты, определяющими характер и положение магматических и рудных проявлений Северо-Восточного Приаргунья, являются три крупные тектонических зоны: Северная, Центральная и Южная.

Первая из них представляет собой крупнейшее региональное нарушение, характеризующееся сочетанием северо-восточных надвигов (Монастырское, Резановское нарушения) и меридиональных сбросо-сдвигов (Ивановское нарушение). Эта зона имеет древнее палеозойское заложение и отличается длительным тектоническим развитием. Палеозойские этапы ее маркируются внедрением в Ивановское нарушение жильных дериватов киреинских гранитов и образованием джаспероидов вдоль Монастырского и Резановского нарушений, а мезозойские — внедрением в зону разлома плагиосиенит-порфиров, кварцевых порфиров, лампрофиров и проявлением рудной минерализации. Последовательность мезозойских этапов развития устанавливается непосредственным контактированием магматических и рудных производных в зоне Монастырского надвига.

Размещение рудных полей в пределах Северной тектонической зоны (около 18 месторождений и рудопроявлений) контролируется в основном структурными факторами (фиг. 1).

Ивановское рудное поле тяготеет к месту отщепления от Монастырского надвига меридионального Ивановского нарушения. В этом участке развиты мощные зоны брекчированных пород, предопределившие локализацию сульфидного оруденения либо непосредственно в брекчиях сланцев (минерализованные зоны), либо на участках их пересечения с тектонически разлинзованными прослоями и линзами известняков (скрытые линзообраз-

¹ Геология рудных полей и отдельных месторождений Северо-Восточного Приаргунья детально рассмотрена в ранее опубликованных работах автора (Кузнецов, 1963; Вольфсон и Кузнецов, 1959 и др.).

ные тела). Структурные условия локализации оруденения определили и его характер: многие минеральные ассоциации имеют здесь признаки образования при повышенной роли кислорода и частичной миграции в этих условиях редких элементов из сферы реакции.

Второе рудное поле рассматриваемой зоны — Воздвиженско-Резановское — расположено в месте изгиба этой зоны по простиранию. Залегая в толще карбонатных пород, разбитых мощными зонами дробления, месторождения этого рудного поля представлены изометричными (Воздвиженское) или уплощенными (Резановское и др.) трубообразными телами, выходящими на дневную поверхность. Будучи сформированы в условиях резкого колебания окислительно-восстановительного потенциала, эти месторождения, как правило, отличаются весьма неравномерными концентрациями редких элементов.

Центральная тектоническая зона, представленная серией молодых мезозойских разрывов, проявлена в виде полосы даек плагиосиенит-порфиров и кварцевых порфиров, прослеженной в северо-восточном направлении на протяжении 20—25 км. Внутреннее строение зоны определяется двумя системами параллельных, кулисообразно расположенных нарушений, которые представляют собой типичные трещины отрыва. Пересекая различные горизонты пород, мезозойские дайки не вызывают сколько-нибудь заметного их смещения и, не нарушая целостности пластов, переходят из юрских в девонские и ордовик-силурийские отложения.

Заложение разрывов Центральной зоны относится к поздним этапам мезозойской тектонической деятельности, а их развитие охватывает ограниченный отрезок времени. В отличие от древних сколовых нарушений эти разрывы не сопровождаются ореолами палеозойских джаспероидов. Вместе с тем для нарушений этой зоны не типичны лампрофиры, а также гидротермальные образования — доломиты и рудная минерализация, что, очевидно, однозначно указывает на развитие Центральной тектонической зоны только в период внедрения мезозойских порфиров. По-видимому, эта зона не оказала влияния на локализацию свинцово-цинкового оруденения.

Южная тектоническая зона, представляющая второй древний палеозойский надвиг, прослежена на протяжении 25 км параллельно Северной зоне. Как и в последней, в ней развиты северо-восточные надвиги (Мальцевское и Трех-Святительское нарушения), от которых отщепляются меридиональные сбросо-сдвиги (Благодатское, Екатерино-Благодатское, Мальцевско-Килгинское нарушения). Для развития этой зоны характерно чередование взбросо-сдвигов и сбросо-сдвигов (палеозойские и мезозойские грабены), а также постепенное затухание амплитуды колебаний. Этапы ее развития отмечены внедрением каледонских (?) порфи-

ров, варисских диорит-порфиров, окварцеванием, внедрением мезозойских трещинных интрузий порфиров и лампрофиров и, наконец, образованием гидротермально-метасоматических доломитов и рудной минерализации.

Южная тектоническая зона, по-видимому, контролирует все свинцово-цинковые месторождения центральной и южной частей Северо-Восточного Приаргунья (свыше 15 месторождений, сконцентрированных в Спасском, Благодатском, Мальцевском и других рудных полях). Как общую структурную закономерность этой зоны необходимо отметить приуроченность важнейших рудных полей (кроме Спасского, положение которого менее определено) к местам отщепления от северо-восточных надвигов меридиональных нарушений.

Спасское рудное поле приурочено к зонам дробления северо-восточного направления и представлено двумя типами рудных тел: жильобразными залежами, локализованными в послойных зонах дробления, и скрытыми рудными телами жильной и столбообразной формы, расположенными на пересечении этих зон с меридиональными трещинами отрыва. Соответственно этому меняется и характер оруденения: от кварц-касситеритовых и сфалерит-касситерит-пиритовых агрегатов, образующихся в зонах дробления и, очевидно, свидетельствующих о повышенной роли кислорода в процессе минералообразования, до пирротиновых и сфалерит-пирротин-станниновых ассоциаций, сформировавшихся в более восстановительной обстановке. Сопутствующее редкометальное оруденение полностью отражает условия образования руд и колеблется от высоких концентраций в скрытых рудных телах (Центральное) до пониженных — в жильобразных залежах (Октябрьское, Центральное).

Благодатское рудное поле залегает на участке сочленения двух тектонических нарушений — Мальцевского надвига и Благодатского сбросо-сдвига. Здесь так же, как и в пределах Спасского рудного поля, развиты два типа рудных тел: изометричные и неправильные трубообразные тела, тяготеющие к трещинам отрыва, или уплощенные трубчатые тела, приуроченные к сколовым нарушениям (по последним данным на глубине меняющие свою форму на жильобразную).

В Мальцевском рудном поле свинцово-цинковое оруденение развивается вдоль меридионального сколового нарушения в месте его причленения к одноименному северо-восточному надвигу. Форма рудных тел здесь меняется в зависимости от состава пород от жильной (в перемежающихся карбонатно-глинистых породах) до столбообразной (в слоистых известняках).

Таким образом, как в Северной, так и в Южной зонах минерализованные площади (рудные поля) приурочены к местам изгиба древних палеозойских нарушений по простиранию, или к узлам сочленения с ними меридиональных опережающих сколов.

Морфологические особенности рудных тел и характер минерализации во многом зависят от типа рудовмещающих структур (зоны брекчирования и дробления, трещины скола, слепые трещины отрыва и т. п.).

По своим генетическим особенностям большинство свинцово-цинковых месторождений Северо-Восточного Приаргунья относится к широко известному «нерчинскому» типу и отличается специфическими близповерхностными условиями образования руд, развитием минерализации в карбонатной среде и чрезвычайно сложными формами рудных залежей. Для месторождений также является характерным накопление резко телескопированных, преимущественно низкотемпературных свинцово-цинковых руд, обогащенных сульфосолями свинца.

В общем случае процесс минералообразования протекал в семь стадий, характеризующихся принципиально отличными минеральными парагенезисами и разделенных периодами интенсивного дробления. Начальная и заключительные стадии минерализации имеют очень незначительное развитие; первая из них выражена в образовании ореолов прерудных кварцево-пиритовых джаспероидов (ранняя кварц-пиритовая стадия), а вторая — в формировании безрудных прожилков и вкрапленности кварца, карбонатов, флюорита и барита (поздняя кварц-карбонат-баритовая стадия). Процесс непосредственного рудообразования протекал в пять стадий, в которые последовательно образовывались: пирит-пирротиновые руды (пирит-пирротиновая стадия), сфалерит-галенитовые (сфалерит-галенитовая стадия), поздние кварц-арсенопиритовые (кварц-арсенопиритовая стадия), галенит-сульфоантимонитовые (сульфоантимонитовая стадия), и, иногда, антимонитовые руды (кварц-антимонитовая стадия). Общая схема выделения минеральных парагенезисов, сопутствующие им изменения вмещающих пород и проявление редких элементов в минералах отдельных стадий минерализации показаны в табл. 1.

Несмотря на общую направленность рудного процесса и идентичность характера растворов тех или иных стадий, местное изменение структурно-литологических условий (а, следовательно, и физико-химических) обусловило различие в минеральном составе свинцово-цинковых руд отдельных рудных полей.

Образование ранних пирит-пирротиновых руд, очевидно, протекало при резких колебаниях режима серы и кислорода. Начавшись в относительно однотипных условиях с отложения пиритовых руд, их выделение в дальнейшем протекало различными путями: в одних рудных телах (Ивановское, Центральное) отлагались массивные пирротиновые руды, свидетельствующие, согласно А. Г. Бетехтину, о переломе в сторону типично восстановительных условий процесса минералообразования; в других — продолжалось образование мономинеральных пиритовых руд (Екатерино-Благодатское и др.). Околорудные изменения этого периода выражены в обра-

зовании турмалина, хлорита и серицита в сланцах, кварца, а иногда пирита в известняках.

Своеобразие сфалерит-галенитовых руд прежде всего определяется составом ранней минеральной ассоциации этой стадии, типоморфные минералы которой представлены манган-сидеритом (Ивановское), кварц-касситеритовыми образованиями (Спасское) и кварц-пиритовыми агрегатами (Благодатское, Екатерино-Благодатское). В дальнейшем процесс рудообразования в сфалерит-галенитовую стадию развивался по-разному. В некоторых месторождениях он протекал на фоне возрастания кислородного потенциала (Ивановское — смена пирита манган-сидеритом, магнетитом и гематитом), в других — имел место резкий перелом в сторону восстановительных условий (Центральное — массовая сульфидизация касситерита, самостоятельное выделение станнина, образование эмульсии пирротина); в третьих — процесс минералообразования не испытывал значительных колебаний окислительно-восстановительных условий (Спасское, Екатерино-Благодатское — выделение сфалерита в ассоциации с касситеритом и механической примесью пирита и т. д.). Околорудные изменения, сопутствующие этой стадии, качественно не меняются, но масштаб их проявления заметно ослабевает.

После отложения поздних мышьяковых руд, разделяющих в Северо-Восточном Приаргунье сфалерит-галенитовую и сульфоантимонитовую стадии, происходит массовое выпадение минералов сульфоантимонитового ряда, образование которых характеризуется последовательной сменой сульфосолей меди и свинца (блеклые руды, бурнонит, джемсонит, буланжерит), сульфосолями свинца (менегинит, геокронит) и низкотемпературной ассоциацией минералов серебра (пираргирит, прустит, миаргирит, самородное серебро). Каждая из отмеченных минеральных ассоциаций воздействует на предшествующие, вызывая большие реакционные, коррозионные и другие преобразования, вплоть до псевдоморфных замещений.

Как строение, так и состав поздних сульфоантимонитовых руд очень резко реагирует на изменение условий их образования. В строении их часто наблюдается смена колломорфных и кристаллических структур (буланжерит Спасского, Октябрьского, геокронит Екатерино-Благодатского месторождения и т. д.), а их состав варьирует от комплексных руд, сложенных сульфосолями свинца, меди и серебра (Ивановское), до мономинеральных геокронитовых (Екатерино-Благодатское) и буланжеритовых (Спасское) образований.

Из общей массы свинцово-цинковых месторождений Восточного Забайкалья полиметаллические руды Северо-Восточного Приаргунья выделяются двумя геохимическими особенностями: во-первых, они характеризуются скудностью меди и относительным богатством мышьяком, оловом и сурьмой (Смирнов, 1955), а

Схема последовательности отложения важнейших парагенетических ассоциаций минералов на различных стадиях образования свинцово-цинковых месторождений Северо-Восточного Приаргуны

Стадия минерализации	Важнейшие парагенетические ассоциации минералов	Околорудные изменения вмещающих пород	Редкометалльная специализация отдельных стадий минерализации
I. Кварц-пиритовая	<i>Кварц — пирит — (серицит — хлорит)</i>	Образование ореолов кварц-пиритовых джаспероидов	Ничтожно малые количества селена и теллура
II. Пирит-пирротиновая	<i>Кварц — пирит — арсенопирит — (турмалин — серицит — хлорит)</i> <i>Кварц — пирротин — халькопирит — (пирит — хлорит — серицит)</i> <i>Кварц — сфалерит — галенит — (халькопирит — пирротин)</i>		Отложение селена и теллура; выделение незначительных количеств индия, серебра, таллия и галлия; отсутствие кадмия
III. Сфалерит-галенитовая	<i>Кварц — (мангансидерит — касситерит — пирит — хлорит — серицит)</i> <i>Сфалерит — пирротин — станнин — (маннетит — касситерит — пирит)</i> <i>Галенит — сфалерит — тетраэдрит — буланжерит — (аргентит — самородное серебро) — гематит — доломит</i>	Постепенно ослабевающая серицитизация, хлоритизация, окварцевание и турмалинизация сланцев и лампрофиров; окварцевание и доломитизация известняков	Резкая обогащенность руд индием и кадмием; уменьшение содержания селена и теллура; увеличение концентрации таллия, серебра и галлия
IV. Кварц-арсенопиритовая	<i>Кварц — арсенопирит — пирит</i>		Незначительные количества селена и теллура
V. Сульфoантимоитовая	<i>Кварц — тетраэдрит — бурнионит — буланжерит — (джерсонит)</i> <i>Кварц — теннантит — (менегинит — геокроном — барит — галенит)</i> Самородное серебро — пираргирит — прустит — миаргирит		Резкая обогащенность руд индием, таллием и серебром; развитие незначительных количеств кадмия; отсутствие галлия, селена и теллура
VI. Кварц-антимоитовая	Халцедон — антимонит	Вкрапления и прожилки барита, доломита, кварца, анкерита и флюорита	
VII. Кварц-карбонат-баритовая	Кварц — барит — анкерит — флюорит — кальцит — доломит		Редкометалльная минерализация отсутствует

Примечание. В скобках указаны минералы, не имеющие повсеместного распространения, т. е. характерные только для отдельных рудных полей; курсивом выделены наиболее распространенные минералы.

во-вторых, большим своеобразием свойственной для них сопутствующей редкометальной минерализации. Последнее обычно выражается в развитии чрезвычайно неравномерных, часто очень высоких концентраций индия, таллия и серебра; в сравнительной обогащенности руд галлием и кадмием и в их относительной обедненности селеном и теллуром; в ничтожно малом содержании висмута и практическом отсутствии германия (Кузнецов, 1958).

Из всех перечисленных редких элементов ниже рассматриваются некоторые особенности геохимического поведения таллия, индия и серебра, концентрации которых в свинцово-цинковых рудах Северо-Восточного Приаргуны наиболее высоки и подвержены особенно резким колебаниям в связи с изменением структурно-литологических условий локализации оруденения.

ТАЛЛИЙ

Общие сведения

Среднее содержание таллия в земной коре составляет $1,3 \times 10^{-4}$ (Шоу, 1952), что значительно выше кларка серебра и лишь немного ниже среднего содержания свинца. Однако обладая большим сходством кристаллохимических свойств с целым рядом распространенных металлов, таллий редко образует самостоятельные минералы и в процессе природной миграции в основном рассеивается в изверженных горных породах и связанных с ними постмагматических образованиях.

Геохимическая природа таллия двойственна. По ряду свойств (валентность, радиус иона, величина потенциала ионизации, свойства химических соединений и т. д.) он сходен со щелочными металлами — калием, рубидием и цезием, в то время как другие свойства (строение атома, атомный вес, величина электроотрицательности и др.) очень сближают его с такими металлами, как свинец и серебро. Эти особенности и определяют поведение таллия в природных процессах. На ранних этапах его геохимической истории в магматических породах, в пегматитовых и грейзеновых образованиях резко проявляются литофильные свойства таллия, в ассоциации с рубидием и цезием он испытывает широкое рассеяние в калийсодержащих алюмосиликатах — полевых шпатах и слюдах. В гидротермальных растворах, при условии обедненности их калием, таллий ведет себя как типичный халькофильный элемент и благодаря высокой подвижности кристаллизуется в поздние стадии совместно со свинцом, серебром, сурьмой и другими элементами.

Широкое рассеяние таллия в главных породообразующих минералах приводит к тому, что концентрация его в гидротермальных растворах обычно недостаточна для образования самостоятельных минералов. Поэтому в сульфидных месторождениях тал-

лий чаще всего встречается в виде примеси в других минералах: в галените, сульфосолях свинца, пирите, марказите, реже — в сфалерите и халькопирите. В зависимости от типа месторождений содержание таллия в этих минералах меняется в очень широких пределах — от десятитысячных до сотых и десятых долей процента. Наиболее высокая таллиеносность обычно характерна для низкотемпературных свинцово-цинковых месторождений малых глубин (Средняя Азия, Забайкалье, Кавказ, Западная Европа и др.), а также для некоторых сурьмяно-ртутных месторождений. В месторождениях этих типов иногда встречаются и собственные минералы таллия: лорандит — $TlAsS_2$, вробаит — $TlAs_2SbS_5$, гутчинсонит $(Cu, Ag, Tl)_2S \cdot PbS 2As_2S_3$, однако все они относятся к группе чрезвычайно редких минералов, а их находки чаще всего связаны с зоной окисления сульфидных руд (Иванов и др., 1960).

Распространение таллия в месторождениях района

В Восточно-Забайкальской таллиеносной провинции, пожалуй, нет другого рудного района, где количества таллия в свинцово-цинковых рудах были бы так высоки и столь неравномерны, как в месторождениях Северо-Восточного Приаргуны. На общем фоне довольно низких концентраций таллия в нерчинских рудах, как правило, не превышающих десятитысячных долей процента, содержание его в рядовых свинцово-цинковых рудах рассматриваемых месторождений иногда достигает 0,01—0,03%, а в главных промышленно важных минералах колеблется от 0,0001 до 0,1—0,5%, т. е. нередко в 100—1000 раз превышает его кларк в земной коре (табл. 2).

Таблица 2

Минералы-носители таллия в месторождениях Северо-Восточного Приаргуны

Минерал	Общее количество проб	Таллий установлен в пробах	Частота нахождения, %	Содержание, %	
				максимальное	наиболее обычное
Геокронит	26	26	100	0,5	0,01—0,05
Менегинит	4	4	100	0,1	0,01
Серицит	16	16	100	0,07	0,002
Галенит	147	82	56	0,1	0,001—0,01
Буланжерит	73	27	37	0,1	0,001—0,005
Бурнонит	24	1	4	0,001	Ниже 0,001

Примечание. В таблице приведены результаты спектральных (количественных и полуквадратных) анализов, выполненных в ИМГРЭ Н. В. Лизуновым. Чувствительность открытия таллия—0,001%.



Изучение особенностей распределения таллия в сульфидных и жильных минералах различных стадий минерализации показывает, что его поведение в процессе формирования нерчинско-заводских свинцово-цинковых руд определяется главным образом сходством геохимических свойств таллия с таковыми калия и свинца. На ранних стадиях образования руд — кварц-пиритовой и пирит-пирротиновой — таллий встречается довольно редко и

Таблица 3

Содержание таллия в галенитах важнейших свинцово-цинковых месторождений Северо-Восточного Приаргуныя

Месторождение	Спектральные анализы		
	количество проб	содержание, %	
		максимальное	наиболее обычное
Благодатское	22	0,01	0,001—0,005
Воздвиженское	23	0,05	0,005—0,010
Екатерино-Благодатское	37	0,10	0,005—0,010
Ивановское	23	0,01	0,001—0,005
Октябрьское	8	0,01	0,001—0,005
Спасское	6		Не обн.
Резановское	8	0,01	0,005—0,010
Центральное	8		Не обн.
Цагайно-Воздаянское	10		»
Мальцевско-Килгинское	10		»

Таблица 3 (окончание)

Месторождение	Химические анализы			
	количество проб	содержание, %		
		максимальное	минимально установленное	наиболее обычное
Благодатское	7	0,017	0,0006	0,002—0,005
Воздвиженское	16	0,013	0,0014	0,005—0,010
Екатерино-Благодатское	18	0,070	0,0010	0,005—0,020
Ивановское	9	0,010	0,0003	0,001—0,002
Октябрьское	4	0,0027	0,0006	0,001—0,002
Спасское	5	0,0022	0,0002	0,0005
Резановское	7	0,0300	0,0025	0,005—0,010
Центральное	3	0,0010	0,0002	0,0005
Цагайно-Воздаянское	5	0,0015	0,0001	0,0002—0,0005
Мальцевско-Килгинское	7	0,0006	0,0002	0,0005

Таблица 4

Содержание таллия в буланжеритах свинцово-цинковых месторождений Северо-Восточного Приаргуныя

Месторождение	Спектральные анализы		Химические анализы		
	количество проб	содержание, %	количество проб	содержание, %	
				максимальное	наиболее обычное
Воздвиженское	2	0,05—0,10	—	—	—
Екатерино-Благодатское	4	0,05—0,10	2	0,0520	0,020—0,050
Ивановское	4	0,0010—0,05	5	0,0500	0,001—0,010
Октябрьское	28	0,0010—0,10	9	0,1000	0,001—0,0050
Спасское	20	Не обн.—0,01	11	0,0070	0,0004—0,0008
Центральное	7	Не обн.—0,005	12	0,0026	0,0005—0,0010
Цагайно-Воздаянское	8	Не обн.	5	0,0017	0,0001—0,0006

Таблица 5

Содержание таллия в геокроните и бурноните из месторождений Северо-Восточного Приаргуныя (по данным химических анализов)

Минерал	Месторождение	Количество проб	Содержание, %		
			максимальное	минимальное	наиболее обычное
Геокронит	Екатерино-Благодатское	14	0,312	0,020	0,02—0,06
Бурнонит	Ивановское	3	0,0006	0,0003	0,0005
»	Центральное	4	0,0007	0,0004	0,0005

ведет себя как типичный литофильный элемент. Благодаря сходству свойств с калием он накапливается преимущественно в сериците (0,0020%), тогда как ранние сульфиды — пирит, пирротин, арсенопирит и сфалерит в отношении таллия, как правило, стерильны. Наиболее ранние разновидности галенита, встречающиеся в пирит-пирротиновых рудах Ивановского месторождения, содержат не более 0,0010% таллия.

Концентрация таллия резко возрастает к концу гидротермального процесса. Накапливаясь в остаточных порциях растворов совместно со свинцом, главная масса таллия отлагается в сфалеритовую, галенитовую и сульфоантимонитовую стадии. В этот период поведение таллия двойственно: с одной стороны, при наличии в растворах калия, он входит в состав жильных серицитов (0,0020—0,0700%), а с другой — накапливается в галените и сульфоанти-

монитах свинца. При этом, как видно из табл. 2—5, концентрация таллия достигает максимально высоких значений в минералах сульфоантимонитовой стадии: галените (0,001—0,01%), геокроните (0,01—0,3%), менегините (до 0,1%) и буланжерите (0,005—0,1%). В прочих сульфидах — позднем пирите, сфалерите, блеклых рудах и др., так же, как и на более ранних стадиях, содержание таллия обычно не превышает кларковых значений.

Обширные аналитические материалы свидетельствуют о том, что содержание таллия в сульфидных минералах подвержено исключительно широким колебаниям как в различных типах месторождений, так и в пределах одних и тех же рудных тел.

В наибольших количествах таллий встречен в месторождениях трубчатой формы, залегающих в доломитах и известняках и характеризующихся широким проявлением поздней сульфоантимонитовой стадии минерализации. В месторождениях этого типа — Воздвиженском, Екатерино-Благодатском, Резановском и др. главная масса таллия входит в сульфиды — галенит, геокронит и буланжерит, в связи с чем его концентрация в рудах находится в тесной зависимости от содержания свинца. Из табл. 3 и 5 видно, что геокронит и наиболее распространенные разновидности галенита Екатерино-Благодатского месторождения в среднем содержат соответственно 0,02—0,06% и 0,005—0,02% таллия и что его концентрация в рудах меняется от ничтожно малой в пиритовых и пирит-сфалеритовых типах руд до 0,01—0,07% в геокронит-галенитовых рудах. В групповых пробах руд Екатерино-Благодатского месторождения, содержащих от 1 до 7—8% свинца, концентрация таллия составляет 0,001—0,03% или 10—50 г/т на 1% свинца (табл. 6).

Т а б л и ц а 6

Содержание таллия в различных типах руд Екатерино-Благодатского месторождения

Типы руд	Место взятия проб	Содержание, %	
		Pb	Tl
Существенно пиритовая	Рудное тело I, гор. 684 м	0,18	Не обн.
Пирит-сфалеритовая	» » 649 м	0,72	0,0003
Сфалерит-галенитовая	» » »	3,82	0,0027
Галенит-геокронит-сфалеритовая	» » »	7,53	0,0260
Геокронит-галенит-сфалеритовая	Рудное тело II, гор. 649 м	9,14	0,0320
Геокронит-галенитовая	» » »	18,54	0,0620

Большой интерес в отношении таллия представляют также относящиеся к тому же типу Воздвиженское и Резановское месторождения. Как и в рудах Екатерино-Благодатского месторождения, в них широко проявлены высокоталлиеносные галенит-сульфосольные ассоциации минералов, характеризующиеся значительным развитием геокронита. Результаты химических анализов показывают, что в галените этих месторождений в среднем содержится от 0,005 до 0,01% таллия, а его количество в резко преобладающих поздних разностях этого минерала, ассоциирующих с геокронитом и буланжеритом, достигает 0,01—0,03%.

Высокие концентрации таллия характерны и для минералов сульфосольного комплекса: в буланжерите Воздвиженского месторождения его содержание составляет 0,05—0,1%, а в геокронит-буланжеритовых агрегатах Резановского месторождения 0,020—0,034%. Исключительно тесная связь таллия с минералами свинца в значительной степени предопределяет и характер его распределения в рядовых рудах рассматриваемых месторождений. В воздвиженских и резановских рудах содержание таллия, как правило, находится в прямой корреляционной зависимости от содержания свинца и, как показывают исследования Н. Н. Бурлуцкой, меняется от 0,0005—0,001% в бедных свинцовых рудах (Pb 0,5—2,0%) до 0,005—0,03% в богатых (Pb 10,0% и выше) рудах.

Значительно меньшие концентрации таллия характерны для месторождений жильной формы, залегающих вблизи контакта известняков со сланцами. В этом типе месторождений, как, например, в месторождениях Спасской горы, таллий не образует высоких концентраций в сульфидных минералах, так как часть его рассеивается в жильном сериците и серицитизированных околорудных породах. Последнее обстоятельство вызывает заметное обеднение, а на участках обильного развития серицита и полное отсутствие таллия в галените и сульфосолях свинца. Очевидно, как следствие этого, галениты Спасского и Центрального месторождений, встречающиеся в парагенезисе с серицитом, обычно содержат не более 0,0002—0,0005% таллия, тогда как в ассоциирующем с ними сериците и в серицитизированных приазальбандовых оторочках рудных тел содержание таллия составляет 0,0020%.

Несколько выше содержание таллия в галените Октябрьского месторождения, однако и здесь даже в самых поздних разностях галенита концентрация таллия редко превышает 0,001—0,002%. Заметно обеднены таллием и широко проявленные в этих месторождениях буланжериты. Из табл. 4 видно, что содержание таллия в буланжеритах Спасского месторождения обычно не выходит за пределы десятитысячных и тысячных долей процента (т. е. в 10—100 раз ниже, чем, например, в буланжерите Екатерино-Благодатского и Воздвиженского месторождений) и лишь в колломорфных разностях этого минерала концентрация таллия иногда достигает 0,1%.

Содержание таллия в различных типах руд и минералах Ивановского месторождения (в %)

Типы руд и место взятия проб	Pb	Tl	Минералы-носители таллия	
			минерал	Tl
<i>Ивановское рудное тело</i>				
Колчеданный (пирит-пирротинный), гор. 620 м . . .	3,17	Не обн.	Серицит	0,0017
			Галенит	0,0003—0,0010
Полиметаллический (галенит-сфалерит-сидеритовый), гор. 620 м	2,74	0,0005	Серицит	0,0020
			Галенит	0,001—0,0050
			Буланжерит	0,001—0,0050
<i>Рудное тело I</i>				
Кварц-сульфоа тимоניתовый, гор. 650 м	2,14	0,0050	Галенит	0,0100
			Менегинит	0,01—0,10
			Буланжерит	0,0500

Расcеяние таллия во вмещающих породах особенно ярко проявилось в рудах Ивановского и Цагайно-Воздьянского месторождений. В табл. 7 показано распределение таллия в рудных телах Ивановского месторождения, приуроченных к толще глинистых сланцев. Здесь можно заметить существенную разницу в концентрациях таллия в Ивановской залежи и в рудном теле I, а также отсутствие сколько-нибудь заметной связи между содержанием в рудах таллия и свинца.

В рудах Ивановской залежи, образовавшихся в ранние стадии минерализации путем метасоматического замещения карбонатно-глинистых пород, таллий широко рассеивается в серицитизированных породах, в то время как его концентрация в галените лишь в отдельных образцах достигает 0,001—0,005%. Совершенно иная картина наблюдается в кварц-сульфоантимонитовых рудах рудного тела I, образование которых протекало в заключительные стадии минерализации путем выполнения пустот в зоне брекчий. В этих рудах, несмотря на низкое содержание свинца, содержание таллия составляет 0,0050%, а его распределение связано исключительно с сульфидными минералами.

Еще более резко обеднены таллием галенит и сульфосоли свинца Цагайно-Воздьянского месторождения, в пределах которого рудные тела приурочены к дайкам лампрофиров. Содержание таллия в минералах свинца здесь обычно составляет не более 0,0002—0,0005%, т. е. примерно в 100—1000 раз меньше, чем в галените или буланжерите Екатерино-Благодатского месторождения. Вместе с тем, судя по опробованию отвалов, содержание таллия в рудах Цагайно-Воздьянского месторождения достигает 0,0003—0,0009%, что почти в два раза превышает его максималь-

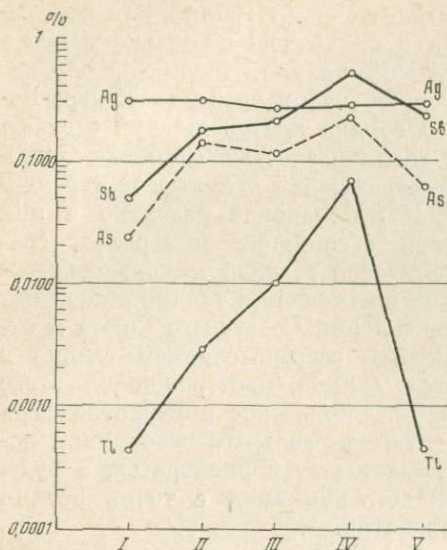
ные содержания в сульфидах. «Избыточный» таллий, как показывают анализы, связан в широко проявленных на месторождении серицитах, содержащих около 0,0020% таллия.

Из приведенных данных следует, что в пределах Северо-Восточного Приаргунья намечается группа месторождений с отчетливо выраженной повышенной таллиеносностью свинцово-цинковых руд. Общей чертой этих месторождений является приуроченность к карбонатным породам и интенсивное развитие в них галенит-геокронит-буланжеритовой ассоциации минералов, связанной с поздней сульфоантимонитовой стадией минералообразования. Будучи наиболее богатыми в отношении таллия объектами среди свинцово-цинковых месторождений Советского Союза и отличаясь чрезвычайно благоприятным сосредоточением таллия в промышленно важных минералах свинца, месторождения этого типа — Екатерино-Благодатское, Воздвиженское и Резановское — уже в настоящее время могут служить реальным источником получения комплексных свинцово-таллиевых концентратов, а руды их заслуживают самого пристального внимания с точки зрения селективного обогащения и переработки.

Поведение таллия в галените

Как многие халькофильные элементы, имеющие низкую или нечеткую валентность, большой ионный радиус и наименьшую среди халькофильных элементов величину электроотрицательности (сурьма, серебро, мышьяк и др.), таллий проявляет отчетливую тенденцию к кристаллизации в поздние стадии образования свинцово-цинковых руд (Иванов, 1959). Эта геохимическая особенность таллия ярко выражена в галенитах нерчинских руд, для которых в общем случае характерны низкие концентрации таллия в ранних разновидностях этого минерала и его накопление совместно с серебром и сурьмой в позднем галените, ассоциирующем с сульфосолями свинца.

Из табл. 7 и фиг. 2, иллюстрирующих поведение таллия в различных генерациях галенита из месторождений Северо-Восточного Приаргунья, следует, что наиболее ранний галенит, связанный с пирит-пирротиновой стадией минерализации (I) и, как правило, резко обедненный сурьмой, в лучшем случае содержит не более 0,001% таллия (при среднем содержании 0,0003—0,0006%). Низкие концентрации таллия, не превышающие 0,001—0,005%, несут и более поздние разновидности галенита, отлагающиеся в сфалерит-галенитовую стадию (II). В последующих разновидностях галенита содержание таллия постепенно возрастает до сотых, а в отдельных случаях даже до десятых долей процента, достигая максимума в обогащенных сурьмой и серебром галенитах сульфоантимонитовой стадии (IV).



Фиг. 2. Соотношение содержаний элементов-примесей в различных разновидностях галенита из месторождений Северо-Восточного Приаргуны

Месторождения: I—Дагайно-Воздаляное, II—Ивановское, III—Мальцевско-Килгинское, IV—Воздвиженское, V—Екатерино-Благодатское

рождений района. Тесная парагенетическая ассоциация переотложенного галенита с серицитом и связь обоих этих минералов с пострудной кварц-карбонатной стадией минерализации позволяют высказать предположение, что регенерация таллийсодержащего галенита в среде, насыщенной калием, сопровождается переходом таллия в калийсодержащие алюмосиликаты, вызывая тем самым резкое снижение его концентрации в переотложенном галените.

Анализ поведения таллия в галенитах нерчинских руд не оставляет никаких сомнений в его тесной геохимической связи в растворах со свинцом, мышьяком, сурьмой и серебром. Однако если рассмотреть микропарагенезис этих элементов в галенитах различных месторождений (или одного и того же месторождения), выделившихся из единых порций растворов, то можно заметить, что прямой корреляционной зависимости между содержанием таллия, с одной стороны, и содержанием сурьмы и серебра в галените, с другой — практически не существует.

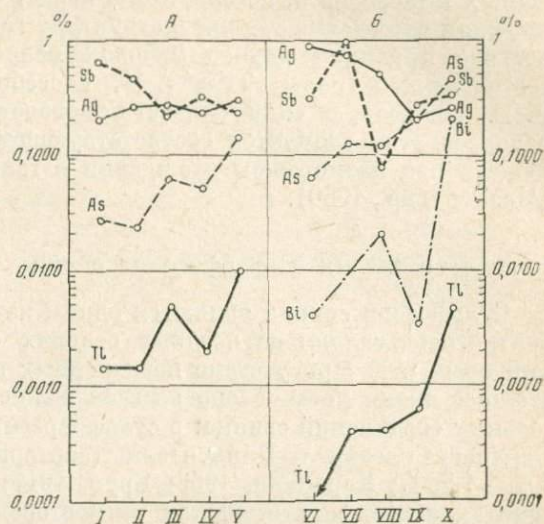
Как показано на фиг. 3, содержание таллия в галените не отражает какой-либо количественной зависимости от примеси сурьмы; очень высокие концентрации сурьмы, превышающие иногда

Вместе с тем из приведенных данных следует, что содержание таллия заметно падает в самых поздних, переотложенных разновидностях галенита (V), выполняющих пустоты в некоторых рудных телах Екатерино-Благодатского и Ивановского месторождений, а также образующих крупные скопления в пределах Мальцевско-Килгинского месторождения. Переотложенный галенит обычно содержит не более 0,0003—0,0006% таллия и, как правило, сопровождается почковидными выделениями серицита, цементирующими обломки брекчированных

сульфоантимонитовых руд. Анализ серицита показывает, что в нем содержится от 0,0050 до 0,010—0,070% таллия, т. е. примерно столько же, сколько в галените сульфоантимонитовой стадии и значительно больше, чем в сериците из других место-

Фиг. 3. Соотношение концентраций серебра, сурьмы, мышьяка, висмута и таллия в галенитах Северо-Восточного Приаргуныя (А) и Алгачинского рудного поля (Б)

Месторождения: I — Цагайно-Воздаянское, II — Ивановское, III — Мальцевско-Килгинское, IV — Воздвиженское, V — Екатерино-Благодатское, VI — Игнатовское, VII — III — Игнатовское, VIII — Алгачинское, IX — Партайское, X — Сопка Баранья



0,5%, одинаково характерны как для галенитов, резко обедненных таллием (Цагайно-Воздаянское месторождение), так и для галенитов, несущих повышенные его концентрации (Екатерино-Благодатское месторождение). Что же касается соотношения концентраций таллия и серебра, то, как видно из приведенных данных по месторождениям Северо-Восточного Приаргуныя и Алгачинского района (фиг. 3), оно, скорее всего, характеризуется обратно пропорциональной зависимостью, ибо возрастание количества таллия в галените и в том, и в другом районе обычно сопровождается уменьшением примеси серебра.

Совершенно иначе ведет себя в галенитах месторождений Северо-Восточного Приаргуныя пара таллий — мышьяк. В большинстве образцов галенита повышение содержания таллия неизменно сопровождается увеличением количества мышьяка, причем, как показано на фиг. 3, концентраций этих элементов в большинстве случаев находятся в прямой пропорциональной зависимости.

Отмеченная нами особенность поведения таллия и мышьяка, очевидно, не является случайной, так как аналогичная картина наблюдается в месторождениях Алгачинского района, где более низким содержаниям таллия сопутствуют и пониженные количества мышьяка. Подобная же закономерность ранее была подмечена Харанчиком для пирита, сфалерита и галенита из силезско-краковских свинцово-цинковых месторождений (Haranczyk, 1956).

Таким образом, если геохимическая связь таллия и сурьмы ограничивается главным образом их совместной миграцией в одних и тех же порциях растворов, то сообщество таллия и мышьяка гораздо теснее проявляется в процессе кристаллизации таллийсодер-

жащих минералов и, по-видимому, играет большую роль при изоморфном вхождении таллия в структуру галенита. Вполне вероятно, что в данном случае мышьяк является компенсационной составляющей пары $Tl^{1+}-As^{3+}$, способной, согласно данным В. В. Иванова, в силу близости ковалентных тетраэдрических радиусов этих элементов соответствующему радиусу свинца, замещать при изоморфном вхождении в галенит два иона свинца (Иванов и др., 1960).

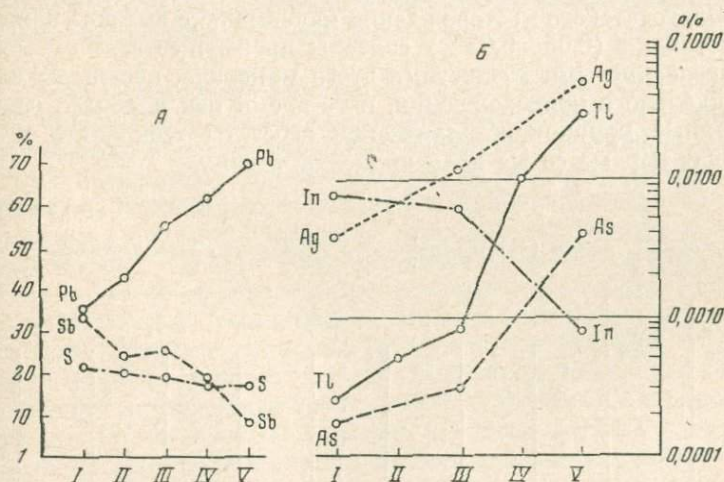
Поведение таллия в сульфосолях свинца

Сульфосоли свинца являются одним из наиболее важных концентраторов таллия на поздних стадиях образования свинцово-цинковых руд. Присутствие повышенных количеств таллия в настоящее время установлено во всех важнейших группах сульфосольных соединений свинца: в сульфоарсенитах из месторождений Верхней Силезии и Бинненталя (сарторит, ратит, иорданит — $0, n - 1,56\%$; Харанчик, 1956; Брун, 1917), в сульфоантимоарсенитах и сульфоантимонитах из месторождений Восточного Забайкалья (геокронит, менегинит, буланжерит — $0,00n - 0,3\%$; Кузнецов, 1959), а также в минералах группы сульфовисмутитов свинца из Восточного Забайкалья и Средней Азии (козалит, галеновисмутит — $0,005-0,01\%$; Иванов, 1960). Довольно часто, но, как правило, в значительно меньших количествах таллий встречается в двойных сульфосолях свинца и меди (бурнонит — $0,0003-0,005\%$; Кузнецов, 1959) и в сульфостаннатах свинца (франкеит, килиндрит — $0,001-0,05\%$; Иванов и др., 1960).

При сравнении концентраций таллия, характерных для различных групп сульфосолей свинца, прежде всего отмечается тот факт, что наиболее высокие и самые устойчивые его содержания чаще всего связаны с группой сульфоарсенитов свинца или с комплексными соединениями мышьяка и сурьмы. Эта специфическая особенность поведения таллия особенно ярко проявляется в месторождениях Северо-Восточного Приаргуныя. Повышенная таллиеносность позднего сульфоантимонитового комплекса здесь характерна лишь для тех месторождений, где, наряду с простыми сульфоантимонитами свинца (джемсонитом, буланжеритом и менегинитом) широко развит сложный сульфоантимоарсенит свинца — геокронит. Содержание таллия в геокроните Екатерино-Благодатского и Смирновского месторождений обычно колеблется в пределах $0,02-0,30\%$, тогда как ассоциирующие с ним простые сульфоантимониты свинца несут не более $0,001-0,05\%$ таллия. Еще более обеднены таллием сульфоантимониты свинца в месторождениях, где геокронитовые руды не получили развития и где свинцово-сурьмяные образования представлены простыми буланжеритовыми или буланжерит-бурнонитовыми типами руд. Так, например, в буланжерите из месторождений Спасской горы содер-

жание таллия составляет не более 0,0004—0,005%, а в буланжерите Цагаяно-Воздаянского месторождения оно редко превышает 0,0001—0,0006%. Отсюда можно сделать вывод, что для накопления таллия более благоприятны комплексные свинцово-сурьмяно-мышьяковые соединения, чем простые свинцово-сурьмяные минералы, в которых мышьяк играет сугубо подчиненную роль.

Концентрация таллия в сульфосолях свинца характеризуется довольно отчетливым параллелизмом с процентным содержанием в них свинца и мышьяка (фиг. 4). Как видно из приведенных результатов анализов, в джемсоните и бурноните с наиболее низким содержанием свинца (35,08 и 42,50%), таллий обнаруживается очень редко и в количествах, не превышающих 0,001%. Обычное же содержание таллия в джемсоните Центрального месторождения 0,0002%, а в бурноните Центрального и Ивановского месторождений 0,0003—0,0007%. В широко распространенном в районе буланжерите (Pb 48,71—59,64%) таллий встречается значительно чаще, чем в бурноните, но содержание его в этом минерале, как правило, отличается крайней неравномерностью (см. табл. 4). Чаще всего концентрация таллия в буланжерите колеблется в пределах 0,0001—0,05% и лишь в части проб, характеризующих явно колломорфные разности этого минерала, достигает 0,1%. Содержание таллия резко возрастает в поздней парагенетической ассоциации сульфосолей, представленной в рассматриваемых месторождениях высокосвинцовистым менегинитом (Pb_{теор}



Фиг. 4. Соотношение концентраций химических элементов в минералах группы сульфосолей свинца

A — основные компоненты, B — элементы примеси

I — джемсонит, II — бурнонит, III — буланжерит, IV — менегинит, V — геокронит

около 67%) и геокронитом (Pb 73,6—74,3%). Концентрация его в этих минералах характеризуется относительной устойчивостью и, как уже отмечалось, колеблется в пределах сотых и десятых долей процента. Одновременно с возрастанием количества свинца и таллия в рассмотренной нами серии минералов повышается также содержание мышьяка, концентрация которого увеличивается от 0,18% в джемсоните до 3,59—3,71% в геокроните.

Таким образом, прямая корреляционная зависимость содержания таллия и мышьяка, ранее отмеченная нами для галенита, имеет место и в сульфосолях свинца. Это обстоятельство в сочетании с четкой корреляционной зависимостью в содержаниях таллия и свинца, позволяет предполагать, что и в комплексных соединениях таллий может изоморфно замещать свинец. Однако, как показали эксперименты Каннери и Фернадеса (Canneri, Fernandes, 1925), в соединениях этого типа таллий может находиться также в твердом растворе, образуя сульфосоли, близкие по составу к гутчинсониту или вробайту.

Наряду с составом минералообразующих компонентов, на степень обогащенности сульфосолей свинца таллием, по-видимому, большое влияние оказывают также физико-химические особенности поздних порций растворов, в частности, прохождение ими стадии гелеобразного состояния. Обширные аналитические данные по содержанию таллия в геокроните и буланжерите свидетельствуют о том, что концентрация таллия резко возрастает в их коллоидных разностях. Как показано в табл. 8, в геокроните Екатерино-Благодатского месторождения максимально высокие концентрации таллия (0,05—0,03%) связаны преимущественно с мелко- и микрочернистыми разностями этого минерала, несущими следы коллоидального происхождения, в то время как наиболее распространенные крупнокристаллические агрегаты геокронита обычно содержат первые сотые доли процента таллия.

Таблица 8

Распределение таллия (%) в геокроните Екатерино-Благодатского месторождения

Разнозначности геокронита	Число проб	Номера проб								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Крупнозернистый . .	9	0,026	0,023	0,028	0,026	0,023	0,034	0,027	0,030	0,020
Мелкозернистый . .	5	0,058	0,312	0,047	0,062	0,164	—	—	—	—

Отмеченная особенность поведения таллия еще более четко проявлена в буланжерите Октябрьского, Центрального и Спасского месторождений. В колломорфном буланжерите Октябрьского месторождения содержание таллия достигает 0,10%, т. е. примерно в 50—100 раз превышает его концентрацию в крупнокристаллических разностях, в которых количество таллия обычно составляет 0,001—0,005%. Подобным образом таллий ведет себя и в буланжерите Спасского месторождения, где при среднем содержании 0,0004—0,0008% концентрация таллия в метаколлоидных образованиях обычно повышается до 0,05—0,07%. Вместе с тем в указанных месторождениях наблюдается так называемая волокнистая разность буланжерита (переходная от крипто- к крупнокристаллическому), в которой содержание таллия колеблется в пределах 0,005—0,01%, т. е. занимает как бы промежуточное положение между колломорфными полнокристаллическими образованиями.

ИНДИЙ

Общие сведения

Индий — типичный рассеянный элемент, его средний кларк в земной коре составляет около 1×10^{-5} , т. е. значительно ниже кларков галлия, германия, кадмия и таллия. Однако благодаря ярко выраженным халькофильным свойствам основная масса индия в процессе кристаллизации накапливается в сульфидах, в связи с чем его концентрации в отдельных минералах этого класса нередко являются более высокими, чем, например, таллия и галлия.

В настоящее время присутствие индия установлено более чем в 80 минералах (окислы, алюмосиликаты, сульфиды и др.), но в большинстве из них содержание индия не превышает десятитысячных и тысячных долей процента. В растворах, порождающих сульфиды, геохимическая история индия наиболее тесно связана с оловом и цинком. Вследствие близости химических и кристаллохимических свойств этих элементов¹ индий наиболее часто входит в состав минералов олова — франкеита, цилиндрита, станина, касситерита, деревянистого олова или же накапливается в сфалерите, который по существу и является главным его носителем в свинцово-цинковых рудах. Содержание индия в отмеченных минералах иногда достигает 0,1—1,0%. Вместе с тем, как указывает А. Е. Ферман (1939), ионы трехвалентного индия путем полярного изоморфизма могут также улавливаться другими ионами низшей валентности, сходными в объеме с ионами индия, например, свинцом и двухвалентной медью. Последнее обстоятель-

¹ Одинаковые или близкие: электропроводность, термическая стойкость, свойства гидроокисей, условия образования сульфидов; сходство с оловом по атомным и с цинком — по ионным радиусам.

ство, с одной стороны, определяет довольно широкое распространение индия в медных минералах — халькопирите и блеклых рудах, а с другой, — обуславливает возможность нахождения его в галените и сульфосолях свинца.

Сходство свойств индия с упомянутыми металлами и прежде всего с оловом и цинком определяет и области его распространения. Повышенные концентрации индия, как правило, наиболее характерны для различных генетических типов оловорудных месторождений, особенно для касситерит-сульфидных месторождений свинцово-цинкового ряда (Дальний Восток и Северо-Восток СССР, Боливия), а также для свинцово-цинковых месторождений, в той или иной степени обогащенных оловом (Восточное Забайкалье и Северная Киргизия, СССР; Сулливан, Канада и др.).

Распространение индия в месторождениях района

Повышенная индиеносность руд является одной из главных геохимических особенностей свинцово-цинковых месторождений Северо-Восточного Приаргунья. Исследование групповых проб из различных месторождений района показывает, что содержание индия в важнейших типах руд обычно колеблется от 0,001 до 0,005%, достигая в отдельных месторождениях 0,01%. Распределение индия и его наиболее обычные концентрации в рудных минералах нерчинско-заводских месторождений показаны в табл. 9.

В изученных месторождениях индий сопутствует почти всем стадиям минералообразования. Однако его поведение и связь с теми или иными парагенетическими ассоциациями минералов на различных стадиях существенно меняются.

В ранних пирит-пирротиновых и пирит-арсенопиритовых

Таблица 9

Главные минералы-носители индия в свинцово-цинковых месторождениях Северо-Восточного Приаргунья (по результатам количественных петрографических анализов)

Минерал	Общее количество проб	Индий установлен в пробах	Частота нахождения, %	Содержание, %	
				максимальное	наиболее обычное
Сфалерит	144	129	90	0,1—0,5	0,01—0,10
Булакигерит	73	58	80	0,03	0,001—0,010
Бурнонит	24	12	50	0,03	0,001—0,010
Галенит	147	20	14	0,005	Ниже 0,0010
Геокронит	26	2	8	0,005	Ниже 0,0010

Примечание. Чувствительность открытия индия 0,001%. Химическими анализами присутствие индия установлено в пирите, пирротине, арсенопирите, джемсоните, блеклой руде и касситерите.

Т а б л и ц а 10

Содержание индия в пирите, пирротине и арсенопирите важнейших месторождений Северо-Восточного Приаргуныя

Месторождение	Общее количество проб	Содержание индия, %		
		в пирите	в арсенопирите	в пирротине
Благodatское	4	0,0005—0,0007	—	—
Екатерино-Благodatское	9	0,0003—0,0008	0,0003—0,0005	—
Воздвиженское	2	0,0005	—	—
Ивановское	7	0,0002—0,0007	—	0,0008
Октябрьское	13	0,0003—0,0007	0,0007—0,0010	—
Центральное	23	0,0003—0,0010	0,0005—0,0010	—

Примечание. Данные о содержании индия в пирите и арсенопирите Благodatского, Воздвиженского, Октябрьского и Центрального месторождений приводятся по материалам Н. Н. Бурлудкой.

образованиях, в основной своей массе предшествующих отложению сульфидов свинца и цинка, индий тесно ассоциирует с железом и в количествах от 0,0002 до 0,0010% входит в состав пирита, пирротина и арсенопирита (табл. 10).

В процессе кристаллизации более поздних существенно цинковых и свинцово-цинковых руд, отличающихся максимально высокими концентрациями индия, резко проявляется его геохимическая связь с цинком и оловом. На этих стадиях рудообразования главная масса индия накапливается в сфалерите (табл. 11),

Т а б л и ц а 11

Содержание индия (в %) в сфалеритах важнейших свинцово-цинковых месторождений Северо-Восточного Приаргуныя

Месторождение	Спектральные анализы		
	количество проб	максимальное	наиболее обычное
Благodatское	22	0,30	0,01—0,1
Воздвиженское	24	0,05	0,01—0,05
Екатерино-Благodatское	37	0,30	0,0050—0,050
Ивановское	18	0,10	0,01—0,1
Октябрьское	21	0,01	0,005
Спасское	8	0,05	0,0050—0,01
Резановское	10	0,05	0,01—0,05
Центральное	10	0,10	0,01—0,10
Цагайно-Воздянское	10	0,30	Ок. 0,1

Таблица 11 (окончание)

Месторождение	Химические анализы			
	количество проб	максимальное	минимально установленные	наиболее обычное
Благodatское	11	0,115	0,013	0,04—0,10
Воздвиженское	11	0,060	0,0024	0,01—0,02
Екатерино-Благodatское	12	0,120	0,0020	0,005—0,04
Ивановское	9	0,060	0,0004	0,01—0,06
Октябрьское	12	0,023	0,0014	0,001—0,01
Спасское	6	0,039	0,0010	0,005—0,01
Резановское	—	—	—	—
Центральное	18	0,1700	0,0040	0,01—0,10
Цагайно-Воздаянское	6	0,1100	0,0290	0,07—0,10

другая же, значительно меньшая часть, рассеивается в галените (до 0,005%), касситерите (0,005%), станине (0,005%) и в поздних разновидностях пирита (0,0002—0,0005%).

На заключительном этапе гипогенной геохимической истории индия в поздних порциях растворов, обогащенных соединениями свинца и сурьмы, намечается отчетливая геохимическая связь индия со свинцом и оловом. Как показывает детальное изучение сульфoантимонитовых руд, наиболее активными концентраторами индия в этот период являются комплексные соединения олова и свинца (франкент), а при более низких концентрациях олова, недостаточных для образования собственных минералов, индий накапливается в оловосодержащих сульфoантимонитах свинца. Так, например, во франкенте Смирновского месторождения содержание индия достигает максимально высоких для Восточного Забайкалья значений — 0,6% (Полякова, 1957). В группе сульфoантимонитов свинца повышенные количества индия установлены в буланжерите большинства изученных месторождений (табл. 12), а также в бурноните Центрального и Ивановского месторождений (0,0007—0,02%), в блеклой руде Ивановского месторождения (0,005%) и в отдельных образцах геокронита Екатерино-Благodatского месторождения (0,0008—0,005%). Характерно, что образующиеся в эту стадию сфалериты обычно исключительно бедны индием; содержание его в поздних разновидностях сфалерита, как правило, в 10—100 раз ниже, чем в сульфoантимонитах свинца.

Месторождения, расположенные в различных рудных полях Северо-Восточного Приаргуны, заметно отличаются друг от друга как по содержанию индия в сфалерите, так и по его распределению в разновременных парагенетических ассоциациях минералов.

Своеобразной чертой месторождений, локализованных в пре-

Содержание индия (в %) в буланжеритах свинцово-цинковых месторождений Северо-Восточного Приаргуныя

Месторождение	Спектральные анализы			Химические анализы		
	количество проб	максимальное	среднее	количество проб	максимальное	среднее
Воздвиженское .	8	0,01	0,005	—	—	—
Екатерино-Благодатское	7	0,01	0,005	—	—	—
Ивановское	8	0,01	0,001—0,005	7	0,0120	0,001—0,005
Октябрьское	28	0,03	0,001—0,005	9	0,1000	0,001—0,010
Спасское	20	0,03	0,001—0,005	6	0,0210	0,001—0,005
Центральное	7	0,01	0,005—0,010	5	0,0230	0,0100
Цагайно-Воздаянское	8		Не обн.	4	0,0020	0,0006

делах Благодатского грабена (Благодатское, Екатерино-Благодатское, Цагайно-Воздаянское), является накопление индия в ранний период кристаллизации свинцово-цинковых руд и резкое снижение его концентраций в поздних существенно свинцовых и свинцово-сурьмяных образованиях. В месторождениях этого рудного поля главная масса индия связана в сфалерите и, частично, в ранних пирит-арсенопиритовых рудах, тогда как более поздние галенит-геокронитовые и буланжеритовые минеральные ассоциации, как правило, бедны индием. Об этом свидетельствуют ничтожно малые, обычно не выходящие за пределы десятитысячных долей процента, концентрации индия в буланжерите Цагайно-Воздаянского месторождения; отсутствие его в большинстве образцов геокронита Екатерино-Благодатского месторождения и чрезвычайно низкое, практически не отличающееся от кларкового, содержание индия в галените.

Таким образом, в месторождениях Благодатского рудного поля сфалерит по существу является единственным минералом, несущим повышенные количества индия, поэтому высокой индиеностью здесь отличаются исключительно богатые сфалеритовые типы руд, а концентрация индия в рудах рассматриваемых месторождений находится в тесной корреляционной зависимости от содержания цинка. Однако количества индия, связанные со сфалеритом различных месторождений этой группы, и, следовательно, соотношение индия и цинка в рудах меняются в очень широких пределах (табл. 13).

Из приведенных выше данных (см. табл. 11) видно, что наиболее высокие концентрации индия в пределах Благодатского рудного поля характерны для сфалерита Цагайно-Воздаянского месторождения. Содержание индия здесь колеблется в очень незначи-

Соотношение средних содержаний индия и цинка в сфалерите и в рядовой руде месторождений Благодатского рудного поля

Месторождение	Сфалерит			Рядовая руда		
	цинк, %	индий, %	содержание индия, г/т на 1% цинка	цинк, %	индий, %	содержание индия, г/т на 1% цинка
Цагаяно-Воздаянское .	48,23	0,0823	17—18	8,17	0,0147	18—19
Благодатское	54,79	0,0625	11—12	8,46	0,0093	10—11
Екатерино-Благодатское	55,41	0,0135	3—4	8,28	0,0037	4—5

Примечание. В целях наглядности в таблице приведены выборочные пробы руды с близкими содержаниями цинка.

тельных интервалах: от 0,10—0,11% в сфалерите, заключенном в слюдяном лампрофиде, до 0,075—0,080% в разностях, замещающих известняки, и лишь в единичных и очень редких для месторождения поздних разновидностях этого минерала его концентрация понижается до 0,03%. Высокое содержание индия в сфалерите Цагаяно-Воздаянского месторождения, в среднем составляющее 0,0823% (или 17—18 г/т на 1% цинка в минерале), хорошо увязывается с анализом руды из отвалов Воздаянской штольни (8,17% Zn и 0,0147% In), показавшим примерно то же соотношение индия к цинку, что и в сфалерите (табл. 13).

Резкий контраст в отношении концентрации индия отмечается в сфалеритах двух других месторождений этого рудного поля — Благодатского и Екатерино-Благодатского. В первом из них, так же, как в Цагаяно-Воздаянском месторождении, в сфалерите преобладают высокие и очень устойчивые содержания индия, меняющиеся в отдельных рудных телах от 0,01—0,04 до 0,09—0,11%. В большинстве проб благодатского сфалерита содержится около одной десятой доли процента индия, в связи с чем среднее его содержание по месторождению достигает 0,0625%. Гораздо более низкими концентрациями индия отличается сфалерит Екатерино-Благодатского месторождения. Лишь в единичных пробах содержание индия в сфалерите здесь повышается до 0,10%, тогда как во всех остальных образцах его концентрация колеблется в пределах 0,002—0,008% (светлоокрашенные разности) и 0,01—0,04% (темно-коричневый сфалерит). Среднее содержание индия в сфалерите Екатерино-Благодатского месторождения составляет 0,0135%, т. е. примерно в пять раз ниже, чем в сфалерите соседнего с ним Благодатского месторождения.

Большое различие концентраций индия в сфалеритовых и галенит-сульфоантимонитовых типах руд, столь отчетливо проявленное в месторождениях Благодатского рудного поля, как бы сивелировано в месторождениях Северной тектонической зоны

(Ивановское, Резановское, Воздвиженское), тяготеющих к Монастырскому разлому. Процесс отложения индия в этих месторождениях охватывает практически все стадии минералообразования и хотя общая тенденция к понижению его концентрации в поздних минеральных ассоциациях здесь сохраняется, тем не менее она выражена значительно слабее, чем в месторождениях предыдущей группы. В сфалерите месторождений Северной тектонической зоны преобладают умеренно высокие концентрации индия, обычно не превышающие сотых долей процента, причем этот порядок содержаний характерен как для раннего сфалерита, так и для более поздних его разновидностей. Вместе с тем в месторождениях этой зоны индий чаще, чем в других рудопроявлениях района, встречается в галените (до 0,005—0,010%) и в значительных количествах присутствует в минералах поздней сульфоантимонитовой стадии, в частности в широко распространенных здесь блеклых рудах (0,005%), буланжерите (0,001—0,005%) и в бурноните (0,005—0,02%).

Несмотря на отмеченные выше общие черты поведения индия, его концентрация в сфалерите различных месторождений Северной тектонической зоны далеко неодинакова и характеризуется отчетливой зависимостью от геологических условий образования руд. В этом нетрудно убедиться, сопоставив концентрации индия в сфалерите Ивановского и Воздвиженского месторождений.

В сфалерите колчеданных и ритмично-полосчатых руд Ивановского месторождения, залегающих в толще глинистых сланцев, содержание индия наиболее часто составляет 0,04—0,06% и только в отдельных образцах понижается до 0,01—0,02%. Более низкие концентрации индия в сфалерите ивановских руд представляют редкое исключение и, как правило, характерны для самых поздних, переотложенных разновидностей этого минерала. Воздвиженское месторождение, залегающее в карбонатных породах, по уровню концентраций индия в сфалерите является своеобразным аналогом Екатерино-Благодатского месторождения. Действительно, как и в последнем, здесь преобладают сравнительно низкие концентрации индия, обычно не превышающие 0,01—0,02% (в большинстве проб сфалерита содержание индия составляет 0,002—0,008%). Различие в уровне концентраций индия в сфалерите Ивановского и Воздвиженского месторождений видно и из сравнения его среднеарифметических содержаний. В первом из них среднее содержание индия в сфалерите равно 0,0341% или 7,1 г/т на 1% цинка (в расчете на 48,17% цинка в минерале), в то время как в сфалерите Воздвиженского месторождения оно равно 0,0144%, что соответствует 2,44 г/т на 1% цинка (при среднем содержании в минерале 58,9% цинка).

Следует отметить, что в этих месторождениях установление корреляционной зависимости между содержаниями индия и цинка имеет лишь чисто геохимический смысл и вследствие накопления

индия в многочисленных минералах свинца не может быть распространено на рядовые руды. Подтверждением этого являются многочисленные анализы групповых проб руды Воздвиженского месторождения, выполненные Н. Н. Бурлуцкой. В этих пробах одни и те же концентрации индия встречаются в рудах, содержащих, например, 2,94 и 8,28% цинка ($\text{In } 0,0003\%$) или же 7,57 и 26,80% цинка ($\text{In } 0,0013\text{—}0,0017\%$). С другой стороны, при равном содержании цинка колебание концентраций индия в руде достигает исключительно широких пределов, причем его содержание в этих пробах часто повышается с увеличением в них количества свинца.

Совершенно иной и, пожалуй, несколько необычный для свинцово-цинковых месторождений характер распределения индия наблюдается в группе месторождений, приуроченных к Спасской гряде известняков (Октябрьское, Центральное, Спасское). Специфической особенностью поведения индия в этой группе является резко повышенная индиеносность поздних буланжеритовых и буланжерит-бурнонитовых руд. За исключением Центрального сфалериты Октябрьского и Спасского месторождений характеризуются весьма неравномерными, часто низкими концентрациями индия, почти не отличающимися от таковых в буланжерите и бурноните. В целом же ряде случаев количества индия в буланжерите здесь в 5—10 раз выше, чем в более раннем сфалерите.

Как и в других рудных полях рассматриваемого района, месторождения Спасской горы неравнозначны по содержанию индия даже в одних и тех же парагенетических ассоциациях минералов. В месторождениях Спасского рудного поля, представляющих части одного крупного месторождения, повышенной индиеносностью резко выделяются рудные тела Центрального месторождения, располагающиеся в экзоконтактной зоне массива гранодиоритов.

В пределах Центрального месторождения трудно выделить минеральные ассоциации, которые не содержали бы повышенных количеств индия. Даже в ранних дисульфидах железа, обычно несущих в месторождениях района первые десятитысячные доли процента индия (см. табл. 10), его содержание часто составляет здесь 0,001%. Еще более резко обогащены индием сфалериты Центрального месторождения. Наиболее обычным фоном концентраций индия в сфалерите этого месторождения являются сотые доли процента с преобладанием содержания от 0,07 до 0,09%. В отдельных же образцах сфалерита его содержание достигает максимально высоких для района значений — 0,12—0,17%. Лишь в самых поздних разновидностях сфалерита, представляющих чисто минералогический интерес, концентрация индия понижается до 0,004—0,008%. Высокие содержания индия характерны также для буланжерита и бурнонита Центрального месторождения; в первом из этих минералов количества индия изменяются в очень незначительных пределах — от 0,009 до 0,023%, составляя в среднем 0,0160%, во втором — от 0,0007 до 0,020%.

На фоне повышенных концентраций индия в сульфидных минералах Центрального месторождения несравнимо более бедными выглядят в отношении этого элемента Октябрьское и Спасское месторождения. Из табл. 14 следует, что содержание индия в сфалерите Октябрьского месторождения почти в восемь раз ниже, чем в сфалерите Центрального, и при обычных для этого участка концентрациях — 0,001—0,004% редко достигает 0,0125—0,0230%. Буланжерит Октябрьского месторождения по среднему содержанию индия, пожалуй, очень мало уступает образцам этого минерала из Центрального месторождения, а в ряде случаев даже включает более высокие концентрации (до 0,10%), однако для него характерен чрезвычайно широкий разброс содержаний (от 0,0010 до 0,1000%). Интересно отметить, что среднее содержание индия в буланжерите Октябрьского месторождения является более высоким, чем в сфалерите.

Примерно аналогичная картина распределения индия наблюдается и в рудах Спасского месторождения. В сфалерите этого месторождения содержание индия в большинстве случаев не выходит за пределы 0,001—0,007%, при максимальном значении 0,039% и среднем — 0,0090%. Буланжерит Спасского месторождения, как правило, относительно обеднен индием (среднее содержание 0,0061%), хотя в целом по месторождению он содержит лишь немного меньше индия, чем сфалерита (табл. 14).

Таблица 14

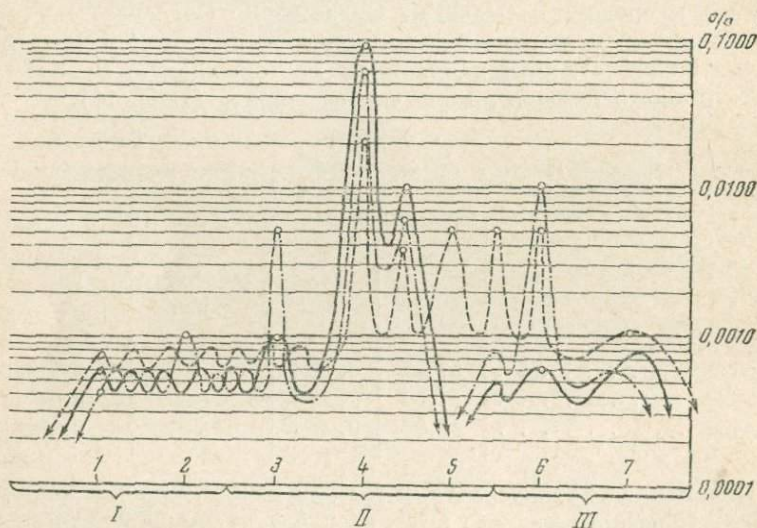
Среднее содержание индия в сфалерите и буланжерите месторождений Спасского рудного поля

Месторождение	В сфалерите			В буланжерите, %
	цинк, %	индий, %	содержание индия, г/т на 1% цинка	
Центральное	57,32	0,0484	8,44	0,0160
Октябрьское	57,30	0,0064	1,12	0,0094
Спасское	57,68	0,0090	1,56	0,0061

Заканчивая характеристику распределения индия в месторождениях Спасского рудного поля, необходимо отметить, что несмотря на повышенную индиенность сфалерита и сульфоантимонитов свинца, в рядовых пробах руд индий встречается здесь, как правило, в очень незначительных количествах. Эта особенность объясняется тем, что во всех месторождениях Спасской горы преобладают бедные прожилково-вкрапленные руды с низкими концентрациями свинца и цинка. Поэтому лишь в наиболее богатых пробах, содержащих 1,5—3,5% цинка и примерно столько же свинца, концентрация индия в Центральном месторождении достигает 0,0005—0,0023%, а в Октябрьском и Спасском — 0,0001—

0,0005%. В большинстве же проб спасских руд содержание индия выходит за пределы чувствительности химического метода.

На основании изложенных фактических материалов можно сделать вывод, что поведение индия на различных стадиях формирования перчинско-заводских свинцово-цинковых руд находится в тесной зависимости от физико-химических условий рудообразования. Не анализируя причин концентрации и рассеяния индия на тех или иных стадиях образования руд, следует отметить, что для каждого рудного поля Северо-Восточного Приаргунья характерны свои, присущие только ему, специфические условия накопления индия. В одних из них (Благодатское) происходит одноактное массовое осаждение индия в связи с ранней сфалеритовой стадией, тогда как образование более поздних минеральных ассоциаций, очевидно, сопровождается его широким рассеянием. В других рудных полях (Спасское) четко проявлено два максимума осаждения индия, отвечающих отложению раннего сфалерита и поздней буланжерит-бурнонитовой ассоциации сульфосолей свинца. И, наконец, в рудных полях Северной тектонической зоны, не образуя ярко выраженных максимумов ни в одной из стадий мине-



Фиг. 5. График поведения индия в различных рудных полях Северо-Восточного Приаргунья

Рудные поля: 1 — Благодатское, 2 — Спасское, 3 — Ивановское. Важнейшие минеральные ассоциации: I — кварцево-пиритовая; 2 — кварцево-пиротиновая, 3 — кварцево-мангансидерит-касситерит-пиритовая, 4 — сфалерит-халькопирит-статтинитовая, 5 — галенит-доломитовая, 6 — буланжерит-бурнонитовая, 7 — геозронит-менегницит-галенитовая. Типы руд: I — пирит-пиротиновые, II — сфалерит-галенитовые, III — галенит-сульфоантимонитовые

рализации, индий более или менее равномерно рассеивается в самых различных минеральных ассоциациях (фиг. 5).

Вместе с тем из приведенных данных следует, что как в пределах всего района, так и в пределах каждого рудного поля, для накопления индия в сульфидах более благоприятны месторождения, в геологическом строении которых большую роль играют изверженные породы (Центральное, Благодарское, Цагаяно-Воздаянское) или же песчано-глинистые отложения (Ивановское), чем месторождения, залегающие в чистых карбонатных породах (Воздвиженское, Резановское, Екатерино-Благодатское, Октябрьское). Подтверждением этого вывода является тот факт, что в месторождениях первой группы содержание индия в сфалерите иногда в 1000 раз превышает его кларк, составляя в среднем 7—18 г/т на 1% цинка, в то время как в месторождениях второй группы максимальные концентрации индия в сфалерите превышают кларковые не более чем в 10—100 раз, при среднем содержании 1—4 г/т на 1% цинка.

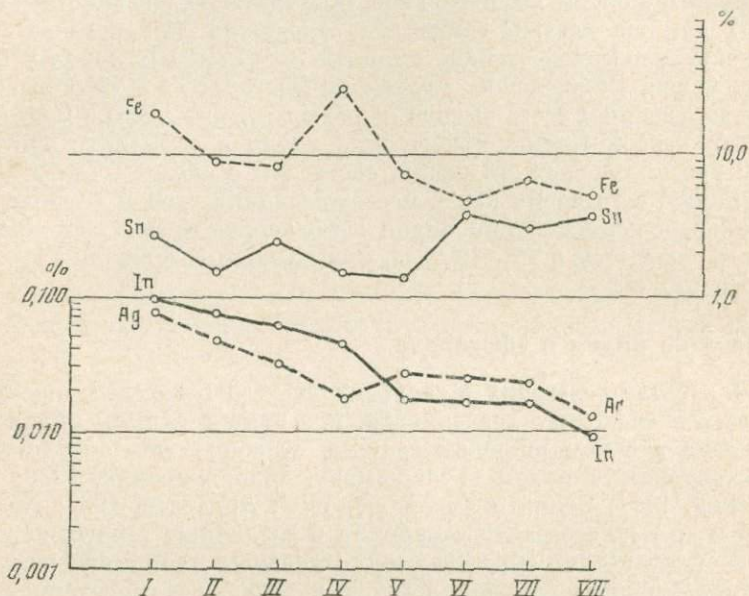
Поведение индия в сфалерите

В работах советских и зарубежных исследователей, опубликованных в последние десятилетия, проблема геохимии индия рассмотрена в самом широком аспекте, от вопросов изоморфизма и кристаллохимии индия (Гольдшмидт, 1938; Ферман, 1939; Вернадский, 1941; Бокий и Ходашова, 1959; Андерсон, 1959; Иванов, 1961 и др.) до его распространения в различных горных породах, постмагматических образованиях отдельных геохимических провинций и рудных районов, а также поведения в гидротермальном процессе и в зоне гипергенеза сульфидных руд (Brewer, Baker, 1936; Прокопенко, 1938, 1941, 1953; Абрамов, Русанов, 1939; Иванов и др., 1958, 1959, 1960; Хетчиков и др., 1958; Шоу, 1959; Кузнецов и др., 1958; Бадалов, 1961 и др.).

Совершенно естественно, что почти во всех перечисленных выше работах большое внимание уделяется рассмотрению геохимических особенностей поведения индия в сфалерите. Интерес к этому вопросу вполне понятен, так как изучение сфалерита, являющегося главным коллектором индия в сульфидных рудах, во-первых, позволяет вскрыть характер геохимической связи индия с широким комплексом сопутствующих ему элементов и понять причины чрезвычайно резкой изменчивости его концентрации в сфалерите, а, во-вторых, дает возможность выявить закономерности распространения индия в различных генетических типах месторождений и тем самым наметить важные геохимические и геологические критерии поисков высокоиндиевых руд.

Однако за редким исключением (Иванов, 1959; Хетчиков и др., 1958) в очерках регионального характера, как правило, приводятся лишь статистические данные по содержанию индия в тех или

иных минералах или, в лучшем случае, констатируется общая тенденция к возрастанию количеств индия в сфалерите с увеличением в нем примеси таких металлов, как олово, железо и серебро. Характер же геохимической зависимости этих элементов и особенно совокупность геологических факторов, способствующих накоплению индия в сфалерите, обычно не анализируются. Поэтому мы



Фиг. 6. Соотношение концентраций элементов-примесей в ранних темно-коричневых сфалеритах месторождений Северо-Восточного Приаргуны

Месторождения: I — Цагаяно-Воздаянское; II — Благодатское, III — Центральное, IV — Ивановское, V — Воздвиженское, VI — Екатериново-Благодатское, VII — Спасское; VIII — Октябрьское

попытаемся рассмотреть особенности поведения индия в сфалерите месторождений Северо-Восточного Приаргуны, в том числе и вопрос о соотношении его концентраций с вышеупомянутыми металлами, прежде всего с точки зрения геологических условий образования свинцово-цинковых руд.

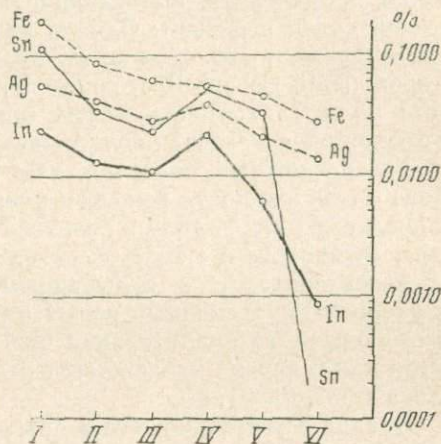
В свое время Н. М. Прокопенко установил один из главных критериев обнаружения повышенных концентраций индия в сульфидных рудах — тесную природную ассоциацию индия с оловом, что позволило ему наметить наиболее перспективные районы поисков индиеносных руд (Прокопенко, 1941). Близость свойств этих металлов, обуславливающая их постоянное металлогеническое сообщество в процессе миграции и рудоотложения, по-види-

тому, и является важнейшим фактором, определяющим степень индиенности сфалеритов в свинцово-цинковых месторождениях.

Как показывают обширные фактические данные, в месторождениях Восточного Забайкалья повышение оловоносности сфалерита неизбежно влечет за собой увеличение количеств присутствующего в нем индия. Прекрасной иллюстрацией этого могут служить помещенные ниже диаграммы (фиг. 6—7), характеризующие

Фиг. 7. Соотношение концентраций элементов-примесей в ранних темно-коричневых сфалеритах Алгачинского рудного поля

Месторождения: I — Покровское, II — Домашевское, III — I Игнатовское, IV — Алгачинское, V — Смежное, VI — Сопка Баранья



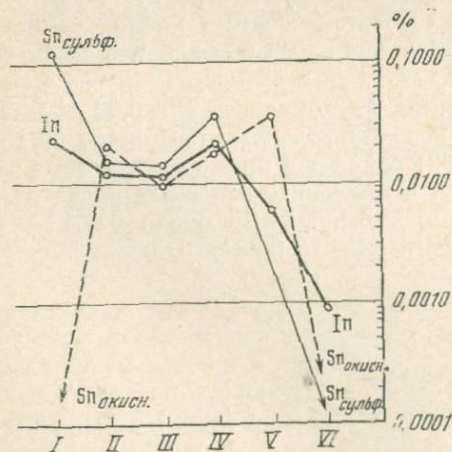
соотношение концентраций индия и олова в сфалерите из различных рудных районов Приаргунского свинцово-цинкового пояса. Из приведенных материалов следует, что район наиболее высокой индиенности свинцово-цинковых руд вообще и сфалерита, в частности, здесь строго ограничивается рамками рудных полей Северо-Восточного Приаргунья (включая расположенные несколько западнее Михайловское и Смирновское рудные поля), характеризующимся, как правило, и самыми высокими концентрациями олова. В пределах района содержание олова в сфалерите достигает 0,3—0,6%, а индия — 0,10—0,17%. Это в среднем в 10 раз выше, чем, например, в месторождениях Алгачинского (Sn 0,03—0,06%; In до 0,01—0,03%) и Кадаинско-Покровского (Sn около 0,01%; In 0,003—0,08%; Читаева, 1962) районов и примерно в 100 раз выше содержания индия и олова в сфалерите основных рудных полей Газимуро-Заводского (Широкинское — Sn около 0,001%; In 0,0005—0,005%) и Кличкинского (Sn, In 0,001—0,005%; Мейтув, 1962) районов.

Зависимость концентраций индия в сфалерите от валовых количеств олова в рудах, столь отчетливо проявленная в пределах всего региона, в ряде случаев наблюдается и в более мелких рудных районах Приаргунского свинцово-цинкового пояса. Так, например, именно этим объясняет Г. М. Мейтув (1962) повышенный фон концентраций индия в месторождениях Каменского рудного

поля (Кличкинский район). Та же причина, очевидно, лежит в основе резкого различия концентраций индия в сфалеритах ранее упомянутого Широкинского рудного поля и в месторождениях Тайнинской группы (Газимуро-Заводский район), содержания олова и индия в рудах и в сфалерите которых отличаются в 10—100 раз.

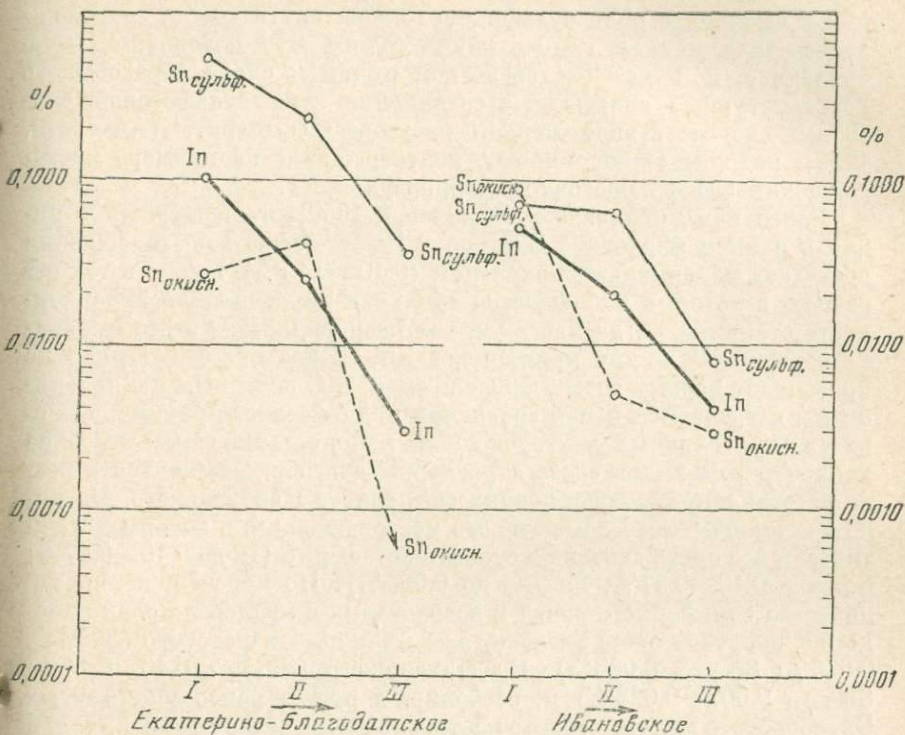
Таковы в общих чертах региональные особенности поведения индия в сфалерите, вытекающие из его первичной металлогенической связи с оловом. Однако как показывает детальное изучение индиенности сфалерита, проведенное нами на примере месторождений Северо-Восточного Приаргуны и Алгачинского рудного поля, зависимость между концентрациями индия и олова в сфалерите в пределах этих районов чаще всего имеет значительно более сложный характер, чем в общем региональном плане. Дело в том, что почти во всех изученных месторождениях мы встречаемся с двумя формами проявления олова в сфалерите: с окисным, связанным в субмикроскопических механических включениях касситерита, и с сульфидным, образующим сингенетичные сфалериту эмульсионные выделения станнина. При этом в одних месторождениях значительная часть олова связана в касситерите, тогда как в других наблюдается резкое преобладание сульфидного олова (фиг. 8—9).

Вполне естественно, что в первом случае не может быть и речи о какой-либо прямой связи между содержанием индия и суммарными количествами олова, заключенными в выделениях сфалерита. Скорее всего, повышение в сфалерите роли окисного олова является своеобразным предвестником уменьшения в нем концентраций индия, так как, с одной стороны, выделение раннего касситерита (непосредственно предшествующего отложению сфалерита), содержащего в месторождениях Восточного Забайкалья



Фиг. 8. Соотношение концентраций индия и олова (сульфидного и окисного) в сфалеритах Алгачинского рудного поля

Месторождения: I — Покровское, II — Домашевское, III — Игнатовское, IV — Алгачинское, V — Смесное, VI — Солка Баранья



Фиг. 9. Зависимость содержаний индия и олова (сульфидного и окисного) в различных генерациях сфалерита Екатерино-Благодатского и Ивановского месторождений

I — темно-коричневый сфалерит, II — светло-коричневый сфалерит, III — кристаллический (перекристаллизованный) сфалерит

от 0,005 до 0,010% индия, само по себе приводит к понижению индиенности растворов, а с другой, — факт присутствия в сфалерите сингенетичных ему включений касситерита служит индикатором резко окислительного потенциала среды, что, как известно, мало благоприятствует осаждению сульфидных соединений индия. Именно такое положение и отмечается в рудах Спасского, Октябрьского и некоторых других месторождений, где образование сфалерита протекало в условиях повышенного кислородного потенциала и сопровождалось кристаллизацией олова в виде касситерита. Сфалериты этих месторождений, несмотря на очень высокие содержания олова, как правило, резко обеднены индием (см. фиг. 6, 7).

Более тесной является геохимическая связь индия с той частью олова, которая связана в сфалерите в сульфидной форме. Как показано на фиг. 8 и 9, в обоих изученных нами районах увеличе-

ние в сфалерите роли сульфидного олова почти всегда сопровождается повышением концентраций индия. Это положение, обусловленное, по-видимому, свойством индия и олова образовывать изоструктурные сульфидные соединения типа сульфосолей, способные входить в виде твердого раствора в сфалериты (Андерсон, 1959), находит самое широкое подтверждение на примере месторождений Северо-Восточного Приаргуныя.

Ранее нами отмечалось (Кузнецов, 1959), что содержание индия в раннем сфалерите Екатерино-Благodatского месторождения достигает максимальных значений (0,10—0,12%) только в тех образцах, в которых наблюдается обильная эмульсионная вкрапленность станнина, тогда как в чистых разновидностях этого минерала содержание индия примерно в 10—15 раз ниже и обычно не превышает первых сотых долей процента. С подобным же явлением мы встречаемся и при сравнении индиенности ранних сфалеритов из различных месторождений района. Так, самые высокие концентрации индия здесь характерны для образовавшихся в резко восстановительных условиях сфалеритов Центрального, Цагаино-Воздаянского и Благodatского месторождений, в которых практически все олово связано в сульфидной форме (In до 0,10—0,17%; $\text{Sn}_{\text{сульф}}$ 0,10—0,57%; $\text{Sn}_{\text{окисн}}$ до 0,005%). По мере снижения количества сульфидного олова и возрастания в сфалерите роли окисного олова, что можно наблюдать на примере Ивановского ($\text{Sn}_{\text{сульф}}$ 0,070%; $\text{Sn}_{\text{окисн}}$ 0,088%), Воздвиженского ($\text{Sn}_{\text{сульф}}$ 0,10—0,14%; $\text{Sn}_{\text{окисн}}$ 0,007—0,028%) и, особенно, в рудах, ранее упомянутых Октябрьского и Спасского месторождений, содержание индия в сфалерите закономерно уменьшается до сотых и даже тысячных долей процента (табл. 15).

Еще более отчетливо связь содержаний индия и сульфидного олова проявлена в сфалеритах месторождений Алгачинского рудного поля (фиг. 8). Как показано на графике, в пределах этого рудного поля содержание индия в раннем сфалерите колеблется от 0,023% в Покровском месторождении ($\text{Sn}_{\text{сульф}}$ 0,124%; $\text{Sn}_{\text{окисн}}$ не обн.) до 0,006—0,0009% в рудах месторождений Смежное ($\text{Sn}_{\text{сульф}}$ не обн.; $\text{Sn}_{\text{окисн}}$ 0,035%) и Солки Бараньей, в сфалерите которого олово практически отсутствует. В прочих же месторождениях этого рудного поля (Домашевское, Алгачинское, I Игнатовское и др.), характеризующихся близкими значениями содержаний сульфидного и окисного олова, концентрация индия в сфалерите обычно не превышает 0,01—0,02% (табл. 16).

Отмеченная выше закономерность, рассмотренная нами применительно к одним и тем же генерациям сфалерита, в одинаковой степени может быть распространена и на сфалериты различных генераций, так как в целом ряде случаев наблюдается очень четкий параллелизм в падении концентраций индия и сульфидного олова от ранних разновидностей этого минерала к более поздним. Очень характерно в этом отношении поведение индия в

Содержание индия, железа, олова и серебра в различных генерациях сфалерита свинцово-цинковых месторождений Северо-Восточного Приаргуны

Месторождение	Генерации сфалерита	Индий		Железо		Олово		Серебро	
		содержание, %	среднее, %	содержание, %	среднее, %	содержание, %	среднее, %	содержание, %	среднее, %
Цагайно-Воздайнское	I	0,0750—0,110	0,09300	10,30—11,58	11,12	0,110—0,577	0,2970	0,072—0,080	0,076
	II	0,029—0,030	0,0295	7,20—8,00	7,60	0,039	0,0390	—	—
Благodatское	I	0,025—0,115	0,07210	8,10—9,50	9,36	0,116—0,200	0,1580	0,042—0,049	0,043
	II	0,013—0,020	0,0163	5,40—6,00	5,60	0,0827	0,0827	—	—
Центральное	I	0,012—0,170	0,0604	6,60—9,70	9,02	0,168—0,409	0,2460	0,027—0,034	0,031
	II	0,004—0,008	0,0063	4,40—5,32	4,86	—	—	—	—
Ивацoвское	I	0,036—0,060	0,0455	11,92—12,86	12,43	0,100—0,210	0,1580	0,014—0,018	0,0176
	II	0,017—0,021	0,0190	4,67	4,67	0,050—0,100	0,0712	—	—
	III	0,0004—0,0074	0,0039	4,62—4,67	4,65	0,010—0,015	0,0110	—	—
Воздвиженское	I	0,008—0,060	0,0180	6,50—8,10	7,19	0,100—0,200	0,1470	0,024—0,030	0,0270
	II	0,0024—0,0067	0,0037	5,00—5,30	5,13	—	—	—	—
Екатерино-Благodatское	I	0,0086—0,1200	0,0169	4,60—5,40	4,83	0,247—0,547	0,397	0,020—0,027	0,025
	II	0,002—0,008	0,0051	4,13	4,13	0,010—0,050	0,036	—	—
Снаское	I	0,003—0,039	0,0160	6,18—7,24	6,70	0,203—0,390	0,300	0,019—0,024	0,022
	II	0,001—0,002	0,0015	4,80	4,80	—	—	—	—
Октябрьское	I	0,0026—0,0230	0,0090	3,40—6,00	5,00	0,187—0,462	0,348	0,011—0,015	0,013
	II	0,001—0,0024	0,0016	—	—	0,049	0,049	—	—

Содержание цинка, железа, кадмия, индия, олова и серебра в ранних разновидностях сфалерита важнейших свинцово-цинковых месторождений Восточного Забайкалья

Рудный район	Месторождение	Содержание, %					
		Zn	Fe	Cd	In	Sn	Ag
Нерчинско-Заводский	Ивановское	48,67	12,43	0,46	0,0455	0,1580	0,0176
	Цагайно-Воздаянское	51,04	11,12	0,21	0,09300	0,2970	0,0760
	Центральное	53,67	9,02	0,18	0,0604	0,2460	0,0310
	Благодатское	54,79	9,36	0,21	0,07210	0,1580	0,0430
	Воздвиженское	56,20	7,19	0,17	0,0180	0,1470	0,0270
	Спаское	57,68	6,70	0,17	0,0160	0,3000	0,0220
	Октябрьское	57,30	5,00	0,22	0,0090	0,3480	0,0130
	Екатерино-Благодатское	57,92	4,83	0,25	0,0169	0,3970	0,0250
Акатуйский (Алгачинское рудное поле)	Покровское	—	10,91	0,34	0,0230	0,1240	0,0550
	Домашевское	—	8,32	0,29	0,0130	0,0350	0,0390
	П. Игнатовское	—	6,18	0,40	0,0110	0,0250	0,0260
	Алгачинское	—	5,54	0,43	0,0220	0,0570	0,0380
	Смежное	—	4,53	0,36	0,0060	0,0350	0,0210
	Сопки Бараньей	—	2,27	0,30	0,0009	Не обн.	0,0140
Кадаинско- Покровский	Гурулевское	—	12,45	—	0,0170	0,1000	—
	Запоровское	—	11,52	0,10	0,0033	0,0010	—
	Покровское	—	10,85	0,25	0,0240	0,0100	—
	Кадаинское	—	5,41	0,20	0,0800	0,0100	—
	Смирновское	—	1,89	0,19	0,0560	0,0530	—
Кличкинский	Савинское	50,28	13,40	0,12—0,16	0,0050	0,001—0,005	—
	Почкуевское	51,68	11,78	0,10—0,20	0,0080	0,001—0,010	—
	Чупинское	52,03	11,00	0,13—0,19	0,0240	0,005—0,030	—
	Каменское	54,04	8,91	0,30—0,60	0,0140	0,005—0,050	—
	Кличкинское	60,44	4,00	0,42—0,44	0,0015	0,0010	—
	Мелентьевское	61,00	3,94	0,38—0,44	0,0050	0,001—0,005	—
	Мыльниковско-Хорки- ринское	58,86	3,15	0,30—0,45	0,0060	0,001—0,005	—

Примечание. Анализы по месторождениям Кадаинско-Покровского района предоставлены автору Н. А. Цытаевой; данные по Кличкинскому району взяты из работ Г. М. Мейгува (1960, 1961).

различных генерациях сфалерита Екатерино-Благодатского и Ивановского месторождений (фиг. 9). В первом из них уменьшение количеств сульфидного олова с десятых до сотых долей процента сопровождается понижением концентраций индия с 0,10 до 0,005%; во втором — ранней генерации сфалерита соответствуют средние содержания — $\text{Sn}_{\text{сульф}}$ 0,07% и In — 0,045%, а самой поздней — $\text{Sn}_{\text{сульф}}$ — 0,008%, In — 0,004%.

Таким образом, можно сделать вывод, что с точки зрения геохимической связи индия с оловом для накопления индия в сфалерите наиболее благоприятны высокооловоносные свинцово-цинковые руды, особенно в пределах тех месторождений, в которых образование сфалерита протекает в условиях высокого восстановительного потенциала среды и характеризуется образованием сульфидных соединений олова, входящих в сфалериты в виде твердого раствора.

Другим и, пожалуй, не менее важным критерием обнаружения руд с повышенными концентрациями индия в сфалерите может служить соотношение в этом минерале содержания индия, с одной стороны, и железа и серебра — с другой. Как видно из табл. 15 и фиг. 6, в свинцово-цинковых месторождениях отдельных районов Восточного Забайкалья четко проявлена тенденция к возрастанию концентрации индия в сфалерите по мере увеличения в нем содержания серебра и железа. В частности, в месторождениях Северо-Восточного Приаргуны повышенные содержания индия (0,045—0,093%) связаны либо с теми месторождениями, где развиты железистые разновидности сфалерита (Ивановское, Цагаино-Воздаянское, Центральное, Благодатское), либо индий концентрируется в ранних, опять же сильно обогащенных железом разновидностях этого минерала. В то же время сфалериты, сравнительно обедненные железом, как правило, бедны и индием.

В этом отношении район Северо-Восточного Приаргуны не является редким исключением, так как аналогичная особенность наблюдается в месторождениях Акатуевского района (см. фиг. 7), где имеет место известный параллелизм в падении концентраций индия и железа. Такие же случаи, но еще более отчетливо выраженные, отмечены в касситерит-сульфидных и свинцово-цинковых месторождениях Дальнего Востока (Хетчиков и др., 1958) и описаны В. В. Ивановым для месторождений Якутии (Иванов, 1963).

Подобные фактические данные можно привести и в отношении зависимости концентраций индия и серебра в сфалерите, отмеченной С. Т. Бадаловым (1961) для сульфидных месторождений Средней Азии. Так, по мере возрастания в сфалерите примеси серебра, содержание индия в месторождениях Северо-Восточного Приаргуны возрастает с 0,009 до 0,093% (при росте содержания серебра от 0,013 до 0,076%). Максимальные содержания того и другого элемента отмечаются в рудах Цагаино-Воздаянского

месторождения, отличающихся, кстати, и наиболее высокой железистостью и оловоносностью. Более отчетливо этот параллелизм в содержаниях индия и серебра выражен в сфалеритах месторождений Акатуевского района, где на фоне роста количеств серебра в сфалерите от 0,014 до 0,055% концентрация индия увеличивается с 0,0009 до 0,0230% (см. табл. 16, фиг. 7).

Конечно, в данном случае нельзя говорить о какой-то региональной корреляционной зависимости в сфалерите содержаний таких пар элементов, как индий — железо и индий — серебро. Связь между индием, железом и серебром, по-видимому, определяется лишь совместными условиями осаждения, тогда как пути миграции этих элементов различны. В самом деле, основная масса железа, как правило, привносится в ранние стадии формирования свинцово-цинковых руд (пиритово-пирротиновая стадия). Серебро же обычно отлагается в самые поздние стадии рудообразования, когда главная масса индия уже связана в сфалерите. Поэтому было бы крайне опрометчиво предполагать, что тот параллелизм в концентрациях индия, железа и серебра в сфалерите отдельных рудных районов, который мы наблюдаем в месторождениях Восточного Забайкалья, вызван чисто металлогеническими причинами. Вероятнее всего, в данном случае мы имеем типичный пример, когда одни и те же геологические условия благоприятны для осаждения в сфалерите целого комплекса элементов — индия, олова, железа, серебра. Действительно, повышенные концентрации этих элементов, как правило, встречаются в тех месторождениях, где сфалерит образовывался в восстановительных условиях, благоприятных, с одной стороны, для накопления индия, а с другой, — для образования железистых сфалеритов, насыщенных эмульсией пирротина, станнина, халькопирита, или для концентраций в них серебра.

СЕРЕБРО

Общие сведения

Серебро обладает ничтожно малой распространенностью в земной коре. Его средний весовой кларк равен $1,5 \times 10^{-6}$ (Ферман, 1939), что в десятки, а иногда и в сотни раз ниже, чем среднее содержание индия, кадмия, галлия и других рассеянных металлов. Казалось бы, что при таких низких концентрациях в природе будут преобладать рассеянные формы нахождения серебра. Но, как известно, серебро образует свыше 60 минералов, а его природные скопления часто имеют даже самостоятельное промышленное значение. Причина этого не случайна, ибо ярко выраженные халькофильные свойства этого элемента способствуют его обособлению в сульфидных растворах, из которых образуются серебросодержащие месторождения.

По своим геохимическим свойствам и прежде всего по склонности к изоморфизму и совместному нахождению серебра ближе всего стоит к таким элементам, как селен, теллур, индий, сурьма, мышьяк, таллий и галлий, а из тяжелых металлов — к свинцу, меди и золоту (Ферсман, 1939). Это и определяет формы нахождения и области распространения серебра: более 50 минералов серебра являются типичными сульфидными соединениями, а его повышенные концентрации, как правило, связаны со свинцово-цинковыми, медноколчеданными, золоторудными и другими сульфидными месторождениями.

В зависимости от форм нахождения серебра С. С. Смирнов (1936) выделяет два типа его месторождений. К первому типу он относит сравнительно редкие месторождения так называемой серебряной формации, где серебро присутствует преимущественно или в виде серебряных сульфосолей (прустит, пираргирит, блеклые руды), или же в самородной форме. Во втором типе, куда им относятся большинство сульфидных месторождений, серебро находится главным образом в «невидимой форме», т. е. изоморфно входит в состав сульфидов.

Ко второму типу месторождений С. С. Смирнов относит и высокосеребристые восточно-забайкальские свинцово-цинковые месторождения.

Распространение серебра в месторождениях района

На протяжении двух столетий Северо-Восточное Приаргунье являлось одним из крупнейших серебродобывающих районов нашей страны. Начиная с 1698 г., когда на горе Крестовке (район Нерчинского Завода) были выплавлены первые пять золотников русского серебра, из нерчинско-заводских свинцово-цинковых руд ежегодно добывалось относительно большое количество серебра, а к 1906 г. серебряный промысел этого района был развит достаточно высоко (Смирнов, 1933). Содержание серебра в наиболее важных месторождениях района в отработанных рудах составляло от 200 до 800 г на 1 т руды (в среднем 33—47 г/т на 1% свинца), что в десятки раз выше, чем, например, в месторождениях смежных Кадапско-Покровского и Кличкинского районов, и уступает лишь высокосеребристым рудам Акатуевского района.

Как видно из приведенных ниже химических анализов (табл. 17—21), в месторождениях Северо-Восточного Приаргунья трудно выделить минеральную ассоциацию, которая бы не несла те или иные количества серебра: практически все рудные минералы, начиная от самых ранних (пирит, пирротин, арсенопирит, сфалерит и др.) и кончая самыми поздними (галенит, сульфосоли свинца), содержат повышенные количества серебра.

Впервые с повышенными концентрациями серебра мы встре-

чаемся в ранних минеральных ассоциациях, относящихся к колчеданным рудам. Из анализов следует, что содержание серебра в пирротине Ивановского и Центрального месторождений достигает 0,02—0,06%, а в ранних, наиболее распространенных разновидностях пирита, колеблется от 0,003—0,009 до 0,06—0,07% (табл. 17 и 18).

Таблица 17

Содержание серебра в пирротине и арсенопирите из месторождений Северо-Восточного Приаргуныя

Минерал	Месторождение	Количество проб	Содержание серебра, %
Пирротин	Ивановское	4	0,0600—0,0615
	Центральное	3	0,0200—0,0236
Арсенопирит	Октябрьское	1	0,0282
	Воздвиженское	2	0,0100—0,0251

Таблица 18

Содержание серебра в ранних пиритах из месторождений Северо-Восточного Приаргуныя

Месторождение	Количество проб	Содержание серебра, %
Благодатское	3	0,0090—0,0119
Екатерино-Благодатское	3	0,0036—0,0060
Воздвиженское	5	0,0110—0,0345
Резановское	1	0,0238
Октябрьское	2	0,0497—0,0555
Центральное	5	0,0130—0,0433
Спасское	5	0,0320—0,0786
Ивановское	3	0,0180—0,0223
Цагайно-Воздаянское	4	0,0383—0,0404

Аналитики В. Моисеев, А. Ларюкова, ИМГРЭ.

На более поздних стадиях минерализации количества серебра заметно возрастают, а характер его геохимических связей резко меняется. В срединные стадии рудообразования большие массы серебра оказываются связанными в сфалерите (темно-коричневый сфалерит — до 0,01—0,08%, табл. 19) и в сопутствующих ему минералах (блеклых рудах, галените и др.); на заключительных стадиях минерализации серебро во все возрастающих

Таблица 19

Содержание серебра в ранних сфалеритах из месторождений Северо-Восточного Приаргуныя

Месторождение	Количество проб	Содержание серебра, %	
		минимальное	максимальное
Благodatское	5	0,0070	0,0490
Екатерино-Благodatское	6	0,0080	0,0300
Воздвиженское	4	0,0210	0,0300
Октябрьское	7	0,0110	0,0380
Спасское	2	0,0190	0,0240
Центральное	3	0,0180	0,0340
Ивановское	4	0,0130	0,0180
Цагайно-Воздаянское	2	0,0720	0,0800

Аналитики К. Исаяса, А. Любанская, В. Моисеев, А. Лариюкова.

Таблица 20

Содержание серебра в буланжеритах из месторождений Северо-Восточного Приаргуныя

Месторождение	Количество проб	Содержание серебра, %		
		минимальное	максимальное	среднее
Октябрьское	5	0,0300	0,0800	0,0600
Центральное	5	0,0154	0,1100	0,0750
Спасское	6	0,0100	0,0700	0,0298
Ивановское	4	0,2900	0,3100	0,3040
Цагайно-Воздаянское	3	0,0850	0,1100	0,1050

Таблица 21

Содержание серебра в галенитах из месторождений Северо-Восточного Приаргуныя

Месторождение	Количество проб	Содержание серебра, %		
		минимальное	максимальное	среднее
Благodatское	5	0,1500	0,2650	0,2270
Екатерино-Благodatское	12	0,1500	0,3450	0,2510
Воздвиженское	4	0,1360	0,2490	0,1920
Мальцевско-Килгинское	4	0,2380	0,2910	0,2710
Резановское	2	0,1150	0,2400	0,1770
Ивановское	5	0,2900	0,3900	0,3300
Цагайно-Воздаянское	4	0,2200	0,5460	0,4360

Аналитики К. Исаяса, А. Любанская, В. Моисеев, А. Лариюкова.

количествах, иногда в 10—50 раз превышающих его содержание в пирите и сфалерите, накапливается в галените и сульфосолях свинца (табл. 20 и 21), или выделяется в виде собственных минералов: самородного серебра, прустита, пираргирита и аргентита.

Такова в общих чертах принципиальная геохимическая схема поведения серебра в месторождениях Северо-Восточного Приаргунья. Эта схема выдерживается почти во всех месторождениях района, но что касается концентрации серебра, его геохимических связей и форм нахождения, то в отдельных типах месторождений они существенно отличаются. По упомянутым выше признакам, т. е. по серебристости руд и особенностям поведения серебра в Северо-Восточном Приаргунье, можно выделить три группы месторождений.

К первой группе необходимо отнести месторождения, залегающие в чистых карбонатных породах (или с преобладанием последних): Екатерино-Благodatское, Воздвиженское, Резановское и др. Отличительной чертой этих месторождений является заметно пониженный фон (в пределах района) концентрации серебра в сульфидных минералах. Как видно из приведенных выше цифровых данных, в рассматриваемом типе месторождений преобладают довольно обычные концентрации серебра, составляющие: в пирите от 0,003—0,006 до 0,01—0,03%; в сфалерите от 0,007—0,008 до 0,01—0,05%; в галените от 0,1 до 0,3% и в сульфосолях свинца от 0,01 до 0,10%. Второй и, пожалуй, весьма важной особенностью этих месторождений является преобладание в рудах так называемого невидимого серебра, или его скрытых форм, так как ни в одном из этих месторождений при самом тщательном минераграфическом исследовании не устанавливаются собственные минералы серебра, или, как это имеет место в рудах Резановского и Воздвиженского месторождений, они носят только минералогический характер. Очень редко здесь устанавливаются мельчайшие выделения аргентита, ассоциирующие с галенитом и сульфосолями свинца.

Несколько иначе распределяется серебро в месторождениях жильной формы, залегающих в зоне контакта карбонатных и силикатных пород. Хотя в этих месторождениях роль свинца и цинка заметно падает, так как массивные руды сменяются прожилково-вкрапленными, роль серебра в главнейших рудообразующих сульфидах заметно возрастает. Это нетрудно заметить из рассмотрения тех же цифровых данных (табл. 18—19), из которых следует, что наиболее распространенные концентрации серебра в пиритах здесь увеличиваются до 0,01—0,06%; в сфалеритах 0,01—0,04%, а в сульфосолях свинца они составляют 0,01—0,11% (Октябрьское, Центральное, Спасское месторождения).

Более резко серебристость сульфидов повышается в рудах Ивановского и Цагайно-Воздянского месторождений, где руды в основном локализованы в сланцах или лампрофирах. Особенно

эти различия выявляются в серебристости поздних сульфидов. Уже в сфалерите в этих месторождениях концентрация серебра резко возрастает и принимает крайне неравномерный характер. Так, если в сфалерите она колеблется от 0,01 до 0,08%, то в галените от 0,20 до 0,55%, а в сульфосолях свинца составляет 0,10—0,30%, т. е. серебристость сульфидов здесь достигает максимально высоких для Северо-Восточного Приаргунья значений.

Тщательное минералогическое исследование показывает, что как в Ивановском, так и особенно в Цагаяно-Воздаянском месторождении широко проявлена собственно серебряная ассоциация самых поздних минералов, представленная самородным серебром, пруститом, пираргиритом, миаргиритом, иногда аргентитом. Накладываясь на поздние свинцово-цинковые и свинцово-сурьмяные руды, серебряная минерализация здесь вызывает повышенную серебристость галенита и сульфосолей свинца, хотя нужно сразу же оговориться, что видимое серебро, связанное в собственных минералах, отнюдь не исчерпывает их серебристости.

Таким образом, можно сделать два практических вывода о ценности месторождений Северо-Восточного Приаргунья в отношении серебра. Во-первых, необходимо опровергнуть укоренившееся мнение об исключительной связи серебра с галенитом, так как из приведенных материалов следует, что все сульфиды серебристы и что все они в концентрированном виде могут быть использованы для извлечения серебра. Во-вторых, следует указать на различную ценность свинцового, цинкового и других концентратов в отношении серебра. Даже в таком сравнительно небольшом районе, как Северо-Восточное Приаргунье, практическое значение этих концентратов в различных месторождениях неодинаково: в одних они обогащены серебром (Ивановское, Цагаяно-Воздаянское), в других содержания серебра являются более низкими (Екатерино-Благодатское, Воздвиженское). Однако и те и другие месторождения имеют, безусловно, большое промышленное значение как источники высокосеребристых руд.

О поведении серебра в пирите и сфалерите

При анализе поведения серебра в ранних минералах свинцово-цинковых руд Северо-Восточного Приаргунья, в частности в серебристых разностях пирита и сфалерита, в первую очередь возникает вопрос о формах нахождения серебра, так как во всех этих минералах преобладает так называемое невидимое серебро, а его собственные минералы или не проявлены, или же представляют большую минералогическую редкость. Некоторые исследователи решают этот вопрос довольно упрощенно, объясняя высокую серебристость пирита и сфалерита механической примесью других минералов. Так, в свинцово-цинковых месторождениях соседнего Кадаинско-Покровского района присутствие серебра

в пирите связывается с выделениями теллуридов серебра, а его наличие в сфалерите — с механической примесью серебрястых свинцовых минералов и блеклых руд.

В рассмотренном нами случае такой подход едва ли оправдан, так как ранние пириты в Северо-Восточном Приаргунье, как правило, лишены примеси теллуридов, а более поздние сфалериты чаще всего свободны от примеси свинцовых минералов и блеклых руд. В справедливости последнего утверждения нас убеждает как полный анализ сфалеритов, так и их минераграфическое изучение.

Следовательно, мы вправе считать, что в данном случае серебро в той или иной форме входит в состав пирита и сфалерита. При этом возможны различные формы вхождения серебра, но наиболее вероятной, как нам кажется, является изоморфное замещение железа и цинка, или же образование твердого раствора комплексных серебряно-индиевых сульфидов. В самом деле, по своим кристаллохимическим свойствам серебро имеет очень много общего с индием (Ферсман, 1939), который, как было показано выше, свободно входит как в состав пирита, так и сфалерита. Вместе с тем, согласно последней теории К. А. Власова (1962) о изоморфных семействах химических элементов, обладающих кратными атомными весами, мы должны отметить, что замещение железа (Fe^{2+} — ат. вес 55,84) и цинка (Zn^{2+} — ат. вес 65,38) в пирите и сфалерите вполне допустимо с точки зрения атомных свойств серебра (Ag^{1+} — ат. вес 107,88). Во всяком случае расхождение в атомных весах этих элементов не превышает 15%, что, согласно взглядам К. А. Власова, способствует их совместному нахождению и изоморфному замещению.

Учитывая отмеченное выше постоянное сообщество серебра с индием и кристаллохимические свойства этих металлов, мы можем предположить, что серебро входит в состав пирита и сфалерита, замещая железо и цинк, причем индий в этом случае может служить компенсационной составляющей в отношении валентности (замещение типа $2Fe^{2+} = In^{3+} + Ag^{1+}$ и $2Zn^{2+} = In^{3+} + Ag^{1+}$).

Возможен и второй вариант — вхождение серебра в эти минералы (в частности, в сфалерит) в виде субмикроскопических выделений комплексных серебряно-индиевых соединений типа сульфосолей свинца. Эта мысль подтверждается постоянным сообществом и удивительным постоянством концентраций серебра и индия в пирите и сфалерите. Действительно, как показано на фиг. 6 и в табл. 16 и 19, повсюду, где присутствует серебро в сфалерите, наблюдается очень четкая корреляция серебра и индия. Отсюда можно заключить, что одной из вероятных форм нахождения серебра в пирите и сфалерите могут служить собственные серебряно-индиевые соединения, изоструктурные минералу-хозяину. Еще раньше к такому же заключению пришел С. Т. Бадалов, считающий, что при совместном нахождении серебра и индия в сфалерите, халькопирите и других минералах они могут находиться в виде соединений типа $AgInS_2$, αIn_2S и т. д. (Бадалов, 1961).

Поведение серебра в галените и сульфосолях свинца

Как в ранних работах, так и в трудах современных исследователей серебристость нерчинских руд связывается с избирательным присутствием серебра в галените. Даже в работах С. С. Смирнова (1936, 1955), наиболее полно освещающих гипогенную минералогию и поведение серебра в зоне окисления месторождений Восточного Забайкалья, галенит рассматривается в качестве единственного коллектора серебра, тогда как прочие сульфидные минералы, в частности, отмеченные выше высокосеребристые пириты, сфалериты и сульфоантимониты свинца, исключаются С. С. Смирновым из числа носителей серебра, а собственные минералы серебра — аргентит, пираргирит, прустит, миаргирит и самородное серебро описываются как редкие, преимущественно гипергенные образования.

Приведенные выше данные показывают гораздо более сложную картину распределения серебра в месторождениях Северо-Восточного Приаргунья, но вполне естественно, что в силу общеизвестных геохимических причин (Ферсман, 1939), галенит и сульфосоли свинца остаются главными концентраторами серебра в свинцово-цинковых рудах. Поэтому мы несколько подробнее остановимся на распространении и формах нахождения серебра в этих группах минералов.

Таблица 22

Содержание серебра в различных рудных районах Приаргунского свинцово-цинкового пояса

Рудный район	Тип месторождения	Содержание серебра, г/т	
		в руде	в руде на 1% свинца
Кличкинский	Свинцово-цинковые с развитием высокотемпературных силикатов	200—520	8—43
Кадаинско-Покровский	Свинцово-цинковые; свинцово-цинковые с развитием ранних мышьяково-колчеданных руд	130—780	16—60
Газимуро-Заводский	Свинцово-цинковые; свинцово-цинковые, обогащенные золотом	190—400	3—12
Нерчинско-Заведский (Северо-Восточное Приаргунье)	Свинцово-цинковые с развитием сульфосолей свинца	200—890	33—47
Акатуевский	Свинцово-цинковые с развитием сульфосолей свинца	700—2000	170—800

Примечание. Содержание серебра в рудах приведено по данным С. С. Смирнова (1933).

Из рассмотрения материалов табл. 22, опубликованных в одной из работ С. С. Смирнова (1933), следует, что серебристость рядовых свинцово-цинковых руд в различных типах месторождений Восточного Забайкалья колеблется в очень широких пределах, достигая 200—2000 г/т (в среднем 33—800 г/т на 1% свинца) в месторождениях, обогащенных низкотемпературным комплексом сульфосолей свинца (Северо-Восточное Приаргунье, Акатуевский район) и снижаясь до 130—520 г/т (3—60 г/т на 1% свинца) в месторождениях, несущих высокотемпературные силикаты или ранние мышьяково-колчеданные руды (Ключкинский, Кадаинско-Покровский и другие районы).

Главными причинами указанных различий, по-видимому, являются следующие. Во-первых, по мере понижения температуры образования свинцово-цинковых руд, вероятно, возрастает общая тенденция к максимально полному осаждению серебра, в силу чего в низкотемпературных месторождениях Приаргунья концентрация серебра во всех сульфидных минералах (пирите, пирротине, арсенопирите, сфалерите и др.) увеличивается примерно в 50—100 раз, по сравнению с более высокотемпературными месторождениями. Так, например, если содержание серебра в перечисленных минералах из месторождений Кадаинско-Покровского района (месторождения с широким проявлением ранних мышьяково-колчеданных руд) составляет в основном 0,0005—0,0050% (Читаева, 1962), то в месторождениях Северо-Восточного Приаргунья (месторождения с развитием поздних сульфoантимонитов свинца) в тех же минералах содержится до 0,01—0,08% серебра. Во-вторых, в связи с тем, что серебро имеет склонность к накоплению в поздних порциях растворов (Смирнов, 1936) или их остаточных дериватах, оно в больших количествах осаждается в поздних разновидностях галенитов и в сульфoантимонитах свинца. Действительно, при переходе от высоко- к низкотемпературным месторождениям (а в пределах одного и того же месторождения — от ранних стадий минерализации к более поздним) наблюдается возрастание концентрации серебра в галените от 0,01—0,05% до 0,10—0,96%, а содержание серебра в сульфосолях свинца достигает 0,10—0,30%. Высокая серебристость галенитов и сульфосолей свинца в низкотемпературных типах месторождений, по-видимому, и является основной причиной высокого содержания серебра в месторождениях Северо-Восточного Приаргунья.

Однако даже в одном и том же типе свинцово-цинковых месторождений нетрудно подметить большую неравномерность концентраций серебра, что, очевидно, прежде всего обусловлено различием геологических условий формирования руд и различным влиянием этих условий на осаждение серебра. Выше мы отметили подобную особенность для месторождений Северо-Восточного Приаргунья. Не анализируя причин указанного явления, необходимо отметить, что близкие по составу месторождения Северо-Восточного Приар-

Соотношение концентраций серебра в сульфидных минералах свинцово-цинковых месторождений Северо-Восточного Приаргуныя и Алгачинского рудного поля

Минерал	Количество проб *	Северо-Восточное Приаргуныя			Алгачинское рудное поле		
		содержание, %			содержание, %		
		минимальное	максимальное	среднее	минимальное	максимальное	среднее
Пирротит	7/6	0,0200	0,0620	0,0484	0,0230	0,0700	0,0520
Арсенопирит	3/4	0,0100	0,0282	0,0211	0,0345	0,1016	0,0681
Пирит	31/17	0,0030	0,0786	0,0328	0,0210	0,1377	0,0675
Сфалерит	37/12	0,0070	0,0800	0,0287	0,0120	0,1330	0,0453
Булаажерит	23/13	0,0100	0,3100	0,1148	0,2380	0,3309	0,2943
Галенит	36/22	0,1150	0,5460	0,2707	0,1960	0,9400	0,4837

* В числителе — пробы из месторождений Северо-Восточного Приаргуныя, в знаменателе — из Алгачинского рудного поля.

гуныя, залегающие в основной своей массе в карбонатных породах, почти всегда относительно менее серебристы, чем месторождения Акатуевского района (табл. 23), приуроченные к толще сланцев и песчаников, причем особенно рельефны эти различия при сравнении серебристости галенитов и сульфосолей свинца.

Таким образом, даже самый беглый и далеко неполный обзор серебристости руд свинцово-цинковых месторождений Восточного Забайкалья убеждает нас в том, что концентрация серебра в них закономерно возрастает по мере падения температуры образования руд, а в одном и том же типе увеличивается при переходе от чистых карбонатных пород к песчано-глинистым толщам.

Анализируя поведение серебра в типично свинцовом и свинцово-сурьмяном парагенезисе, прежде всего необходимо подчеркнуть, что как содержание серебра, так и формы его нахождения в отдельных месторождениях и, главным образом на различных стадиях формирования месторождений Северо-Восточного Приаргуныя, испытывают очень большие изменения: с одной стороны, они как бы отражают эволюцию состава гидротермальных растворов во времени, а с другой, — изменение геологических условий отложения свинцово-цинковых руд в пространстве.

На ранних стадиях образования свинцово-цинковых руд или в месторождениях, приуроченных к карбонатным и карбонатно-глинистым породам, концентрация серебра в галените и сульфоантимонитах свинца, как правило, не превышает 0,10—0,30% (табл. 21—22), причем главная масса серебра здесь присутствует в так называемой невидимой форме. По данным С. С. Смирнова

(1936) и большинства современных исследователей, в этом случае серебро или изоморфно замещает свинец (возможно, с компенсацией валентности за счет таллия), или образует твердый раствор.

В срединные стадии рудного процесса, а в месторождениях, залегающих в песчано-глинистых толщах, изверженных породах и т. п., и в ранние стадии происходит более полное осаждение серебра. В этом случае содержание серебра в галените нередко достигает 0,33—0,50% и наряду с «невидимым серебром» появляются редкие, но иногда довольно крупные выделения собственно серебряных минералов. Обычно они представлены сернистыми соединениями серебра — аргентитом, а в условиях резко восстановительной обстановки — самородным серебром.

Таким образом, изложенные нами факты в какой-то степени подтверждают взгляды Рамдора, Онтоева и др. об ограниченной растворимости Ag_2S в галените (или об ограниченной изоморфной емкости галенита). Эти авторы считают, что при содержании выше 0,10% серебро образует микровключения собственных минералов. Следовательно, в срединные стадии минералообразования возможны, а чаще всего и довольно четко выражены две формы нахождения серебра, среди которых резко превалирует «невидимое серебро», а при повышении его концентрации в растворах — механические включения аргентита и самородного серебра (Спасское, Благодатское, Ивановское рудные поля).

Концентрация и формы нахождения серебра в галените и сульфоантимонитах свинца резко меняются на заключительных стадиях рудообразования — в поздних свинцово-сурьмяных рудах. Как и на ранних стадиях, здесь в некоторых случаях осаждение серебра довольно ограничено (геокронитовые руды Екатерино-Благодатское месторождения, буланжеритовые руды Октябрьского и Спасского месторождений и т. д.). В этих месторождениях концентрация серебра в поздних сульфоантимонитовых рудах редко превышает 0,10%, а включения собственных минералов серебра весьма ограничены. Однако в целом ряде месторождений (Ивановское, Цагаяно-Воздаянское и др.) в сульфоантимонитовых рудах содержание серебра заметно возрастает (до 0,50—0,96%), а его собственные минералы, особенно пираргирит, прустит и самородное серебро, играют значительную роль. Нужно отметить, что в данном случае очень редко выделяется аргентит, так как его сменяют сурьмянистые и мышьяковистые соединения серебра, а в резко восстановительных условиях избыточное серебро выделяется в самородном виде. Не исключено, что в этом случае «невидимое серебро» связано также в виде твердого раствора сурьмянистых соединений типа миаргирита.

Таким образом, по мере развития сульфидной минерализации в месторождениях Северо-Восточного Приаргунья можно наблюдать возрастание концентраций серебра и смену форм его проявления от «невидимого серебра» к сернистым соединениям, а затем возрастание роли сурьмяных соединений и самородного серебра.

Глава вторая

МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ РУД СВИНЦОВО-ЦИНКОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЮГО-ЗАПАДНОГО ПРИАРГУНЬЯ И ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ В НИХ РЕДКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Свинцово-цинковые месторождения Юго-Западного Приаргунья, наиболее важные из которых сосредоточены в Кличкинском рудном районе, представлены крайне своеобразными минеральными образованиями. Они залегают в различных по составу породах (гранитоидах, сланцах, доломитах), но сформированы в течение единого процесса минералообразования, что привело к появлению родственных, но существенно различных в минералого-геохимическом отношении минеральных ассоциаций.

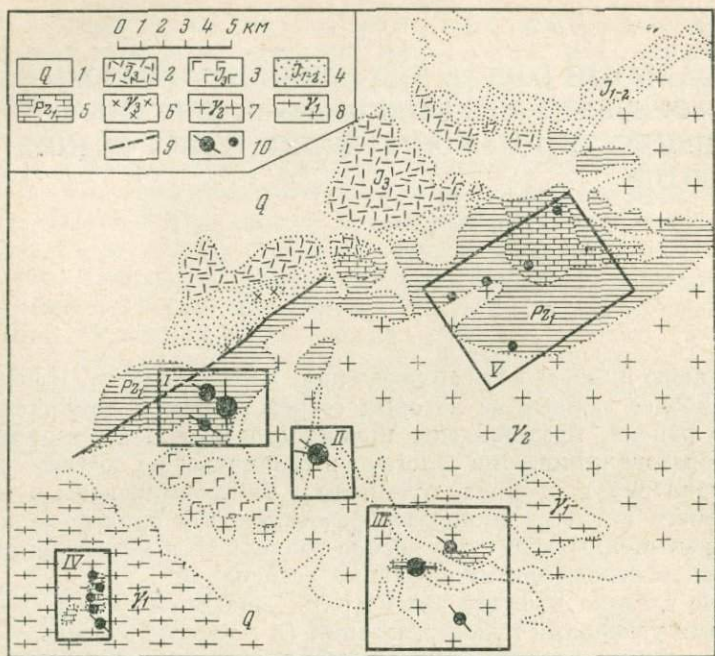
Ниже сделана попытка рассмотреть зависимость между геологическими условиями рудообразования (и в первую очередь составом вмещающих пород) и минералого-геохимическими особенностями руд. Объектом детального изучения явились не только главные компоненты руд, но также и элементы-примеси, что позволило значительно расширить геохимическую характеристику отдельных месторождений и исследовать условия их образования. При описании рудообразующих минералов всех месторождений района особое внимание уделено характеристике рудных минералов, многие из которых обнаружены впервые автором.

Находясь на границе различных рудных поясов, характеризующие месторождения совмещают черты редкометальных грейзенов и альбититов с типичными сульфидными (мышьяково-серно-колчеданными и свинцово-цинковыми) месторождениями.

В результате проведенных исследований собран новый материал, подтверждающий представления С. С. Смирнова о генетическом единстве различных типов гидротермальных месторождений Восточного Забайкалья.

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О ГЕОЛОГИЧЕСКОМ СТРОЕНИИ КЛИЧКИНСКОГО РАЙОНА

Под Кличкинским рудным районом принято понимать юго-западную часть Приаргунского полиметаллического пояса, включающую Кличкинское, Каменское, Ново-Ивановское, Чупинское и Заурулюнгуевское рудные поля (фиг. 10).



Фиг. 10. Схема размещения рудных полей Кличкинского района
 1 — четвертичные отложения; 2 — андезиты и порфиры верхней юры; 3 — базальты и туфы верхней юры; 4 — конгломераты и песчаники нижней — средней юры; 5 — карбонатные и карбонатно-глинистые толщи нижнего палеозоя; 6 — штоки кварцевых диоритов и сиенитов верхнекаменноугольного возраста; 7 — граниты варисцидские; 8 — гранито-гнейсы; 9 — тектонические нарушения; 10 — рудные поля и месторождения; I — Кличкинское рудное поле (Савинское № 5, Почкуевское и Кличкинское месторождения); II — Каменское рудное поле (Каменское месторождение); III — Ново-Ивановское рудное поле (Мыльниковско-Хоркиринское месторождение и рудопроявления Северная Шахта и Файтеловское); IV — Заурул'ноуговское рудное поле (Савинское, Мелентьевское, Домашевское, Сухаревское и Дмитриевское рудопроявления); V — Чупинское рудное поле (Чупинское месторождение и рудопроявления Михайловское, Турсукайское и др.)

Рассматриваемый район тяготеет к северной части Урулюнгуевского поднятия. По данным Г. Н. Князева и других исследователей, это поднятие начиная с палеозоя развивалось по типу срединных массивов. Его фундамент сложен палеозойскими и верхнепротерозойскими гранитоидами, прорывающими сланцево-карбонатные толщи нижнего палеозоя. Возраст основных складчатых структур этого поднятия — каледонский и герцинский. В мезозое Урулюнгуевский массив испытывал глыбовые дислокации, сопровож-

даемые излиянием в верхнеюрское время андезитовых и лшаритовых лав и внедрение интрузивных и экструзивных образований.

Современные представления о геологическом строении Кличкинского рудного района сложились в результате детальных исследований С. С. Смирнова, Д. И. Горжевского, Е. Г. Ануфриевой, В. П. Дзядка, В. В. Архангельской, П. Ф. Шинкарева, И. С. Моисеенко и др.

Среди осадочных и вулканогенных пород района отмечаются образования нижнепалеозойского и мезозойского возраста. Первые из них представлены интенсивно метаморфизованными толщами карбонатных и карбонатно-глинистых пород, возраст которых, согласно данным большинства исследователей, определяется как средний-верхний кембрий — силур. Эти породы сохранились главным образом в виде полосы в северной части района и представляют собой остатки северо-западного крыла Кличкинско-Кадаинской антиклинали, уничтоженной в осевой части варисскими гранитами. Далее на север нижнепалеозойские образования несогласно перекрываются песчаниками и конгломератами нижней и средней юры.

Характеризуемые отложения расчленены Д. И. Горжевским, а затем и В. В. Архангельской (1963) на три свиты (снизу вверх).

Нижняя (быстринская) свита представлена чередующимися белыми массивными и обогащенными углистым веществом серыми грубослойстыми доломитами с подчиненными прослоями песчаников и филлитовидных сланцев. Общая мощность свиты более 4000 м.

Средняя (алтачинская) свита сложена толщей метаморфизованных глинистых и известковистых сланцев с прослоями и линзами доломитов, известняков, песчаников и конгломератов, залегающих без видимого несогласия на нижней карбонатной толще. Мощность средней свиты около 2600 м.

Верхняя (нерчинско-заводская) свита. Выше сланцев согласно, но с довольно резким переходом залегает свита карбонатных пород, состоящая из чередующихся пластов белых и серых доломитов, которыми и заканчивается разрез нижнего палеозоя. Видимая мощность этой свиты составляет, по данным Д. И. Горжевского, 250 м.

Комплекс мезозойских отложений, представленный многокилометровой толщей перемежающихся конгломератов, песчаников, аргиллитов, андезитов и порфиритов ниже-, средне- и верхнеюрского возраста развит главным образом за пределами рассматриваемой территории, по периферии Урулюнгуевского поднятия. К северу от пос. Клички эти отложения надвинуты по крупному тектоническому нарушению северо-восточного простирания на породы палеозойского фундамента. Непосредственно на территории исследуемого района осадочно-вулканогенные породы мезозоя представлены только верхнеюрскими образованиями (базальтами

с прослоями туфов и валунных конгломератов), залегающими несогласно на размытой поверхности палеозойских отложений. Мощность этой толщи, по данным В. В. Архангельской, достигает 1000 м.

В районе широко распространены интрузивные породы, которые подразделяются Д. И. Горжевским, В. В. Архангельской, Е. Г. Ануфриевой и другими исследователями на три группы: 1) гранито-гнейсы, предположительно каледонского возраста; 2) урулюнгуевские граниты, габбро и диориты варисского возраста; 3) кварцевые диориты, гранит-порфиры и лампрофиры, условно относимые большинством исследователей по аналогии с данными по другим районам к киммерийскому времени.

1. Гранито-гнейсы наблюдаются в виде многочисленных ксенолитов, заключенных в палеозойских гранитах, а также в виде небольшого самостоятельного массива, обнажающегося в восточной части исследуемой площади.

2. Габбро слагают два небольших массива, расположенных вблизи пос. Кличка на левом борту пади Цаган-Золотуй. Диориты в большинстве случаев приурочены к периферическим частям габбровых интрузий, что позволяет рассматривать их в качестве гибридных образований.

Варисские граниты, пользующиеся на изученной территории наибольшим распространением, слагают крупные интрузивные массивы (урулюнгуевский комплекс). Они имеют весьма непостоянный состав, меняющийся от роговообманковых и биотит-роговообманковых разновидностей до аляскитовых гранитов. Разнообразие состава гранитов обусловлено, как это показали исследования В. В. Архангельской (1963), главным образом не процессами дифференциации магмы, а явлениями гибридизма.

3. Киммерийские интрузии, к которым пространственно тяготеет свинцово-цинковое оруденение, представлены довольно крупным дайкообразным телом гранит-порфиров, обнажающихся в пределах Кличкинского месторождения, штоками и жилообразными телами кварцевых диоритов (Савинский шток)¹, а также многочисленной и многообразной серией даек основного состава (керсантитов, спессартитов, диабазовых порфиритов и порфиритов). Все эти породы в пределах рассматриваемой площади прорывают осадочные и интрузивные комплексы палеозойского возраста, а в более северных и южных районах аналогичные им по составу породы секут юрские толщи и перекрываются меловыми отложениями. Возраст их, по мнению большинства исследователей, условно определяется как послеперхнеюрский — донижнемеловой.

Породы, прорванные варисскими и мезозойскими интрузиями, подвергнуты контактовому метаморфизму. Карбонатные отложения почти повсеместно перекристаллизованы в мраморы, а на от-

¹ По данным В. В. Архангельской (1962, 1963), кварцевые диориты и гранит-порфиры скорее имеют палеозойский возраст.

дельных участках превращены в скарны. Минеральный состав последних весьма разнообразен: гранат (гроссуляр-андрадитового ряда), диопсид, волластонит, энстатит, везувиян, форстерит, эпидот, скаполит, серпентин, флогопит, биотит, тремолит, актинолит и др.

Другие осадочные породы превращены в филлитовидные сланцы и кварциты. Наряду с основными минералами — кварцем, кальцитом, серицитом, хлоритом и графитом, в их составе выявлены также значительно менее распространенные силлиманит, гессонит, роговая обманка, хондродит, форстерит, диопсид, эпидот, магнетит, гранат. В отдельных участках метаморфизм проявлен более интенсивно, с образованием существенно волластонитовых, диопсидовых и силлиманитовых пород. В сланцах, кроме того, широко распространены послойные инъекции кварцевых джоритов и их дериватов и даже мигматиты.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СВИНЦОВО-ЦИНКОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КЛИЧКИНСКОГО РАЙОНА

В пределах Кличкинского района в настоящее время известно около 20 свинцово-цинковых месторождений и рудопроявлений. Месторождения распределены на площади крайне неравномерно, образуя пространственно сближенные группы — рудные поля. В размещении рудных полей и отдельных месторождений основное значение принадлежит дизъюнктивным и пликативным нарушениям, возникшим еще в палеозойское время, а также благоприятным по литологическому составу вмещающим породам. В связи с этим значительная часть известных здесь месторождений и рудопроявлений залегает среди нижнепалеозойских осадочных карбонатных и сланцевых толщ, обнажающихся в северной части района (Савинское № 5, Почекуевское, Кличкинское, Чупинское и др.), либо тяготеет к небольшим по размерам останцам осадочных пород, сохранившихся среди гранитоидов в центральной и юго-восточной части рассматриваемой площади (Мыльниковско-Хоркиринское, Мелентьевское, Савинское и др.). Рудные тела лишь немногих месторождений залегают в гранитоидах (Каменское, Северная Шахта, Файтеловское, Дмитриевское).

В таблице 24 суммированы данные, характеризующие геолого-структурные особенности всех основных месторождений и рудопроявлений района, минеральный и химический состав руд, изменения вмещающих пород. В основу таблицы положены личные наблюдения автора. Кроме того, в ней учтены материалы всех предыдущих исследователей: С. С. Смирнова, Е. Г. Ануфриевой, В. П. Дзядка, В. В. Архангельской, Б. П. Санина, М. А. Свицкого, И. Г. Черемухина, И. И. Бугаева, Н. М. Чумаченко, А. А. Фирсовой, Е. В. Гроицкой, В. А. Варюхиной, Н. М. Прокопенко, Н. В. Лизунова, Г. М. Лобановой, Ю. И. Дрыжака, И. С. Рудника, С. А. Горжеев-

ской, С. И. Талдыкиной, С. А. Аксеновой, В. Е. Рудакова, В. А. Суматохина, В. Н. Иванова, В. А. Намолова и др.

Из рассмотрения приведенных в табл. 24 материалов следует, что в наибольшей степени отличаются друг от друга месторождения, залегающие в различных по составу породах, тогда как руды, развитые в породах сходного состава, имеют наиболее близкие минерало-геохимические черты. Исходя из этого, нами все месторождения района подразделены на три группы, залегающие: 1) в сланцевых толщах, 2) в гранитоидах и 3) в карбонатных породах.

Для каждой из групп месторождений установлены присущие им характерные особенности морфологии рудных тел, их относительные размеры, интенсивность околорудного изменения и состав измененных вмещающих пород, количественные соотношения главных рудных и нерудных минералов, их типичные текстуры, химический состав руд и установленная в них концентрации отдельных редких элементов (Мейтув, 1963). Эти данные сведены в табл. 25 и они позволяют сравнивать между собою геологическое строение изученных месторождений.

МИНЕРАЛЬНЫЕ АССОЦИАЦИИ И СТАДИИ МИНЕРАЛООБРАЗОВАНИЯ

Свинцово-цинковые месторождения Кличкинского рудного района представляют, как правило, сложные многостадийные метасоматические образования, общей отличительной особенностью которых является чрезвычайно интенсивное проявление ранних предрудных пневматолитово-гидротермальных изменений (грейзенизация, альбитизация, аксинитизация и др.), наряду с широким развитием минеральных ассоциаций, отлагающихся в средне-температурные (мышьяково-колчеданные и полиметаллические руды) и низкотемпературные (кварц-флюорит-карбонатные) стадии минералообразования. Минеральный состав руд довольно сложен, но однообразен. В каждом из изученных месторождений по существу повторяются сходные ассоциации первичных рудных и нерудных минералов (табл. 24).

Из рудных постоянно отмечаются: галенит, сфалерит, пирит, арсенипирит, блеклая руда, буланжерит, валлерит, кубанит, борнит, минералы группы пираргирит-прустит, самородное серебро, станин, касситерит, шеелит, магнетит, марказит и др.

Среди нерудных — кварц, карбонаты, хлорит, серицит, флюорит, мусковит, турмалин, флогопит, полевые шпаты, серпентин, тремолит, эпидот, топаз, апатит и др.

К малораспространенным и редким минералам относятся: бурнонит, висмутин, висмут самородный, алтайт, гессит, калаверит, тетрадимит, брейтгаузит, раммельсбергит, ульманит, дискразит.

Наряду с наблюдаемым постоянством в различных месторождениях района общего состава руд в качественном отношении,

Краткие сведения о геологическом строении и минералого-геохимических особенностях свинцово-цинковых месторождений Кличкинского рудного района

Геолого-структурные особенности	Минеральный состав руд	Основные минеральные ассоциации	Главные минералы-носители и их ведущие элементы-примеси
1. Месторождение Сивинское № 5			
<p>1. Геологическая позиция Месторождение приурочено к выходам нижнепалеозойских сланцевых толщ, слагающих северо-западное крыло Кличкинского-Кадашской антиклинали</p> <p>2. Состав вмещающих пород Интенсивно метаморфизованные кремнистые известково-углистые, глинисто-углистые и известковистые сланцы с прослоями известняков и песчаников, участками скарнированных и обильно инфильтрованных телами кварцевых диоритов</p> <p>3. Морфология рудных тел Сложная минерализованная зона пластообразной формы, образованная серией разобщенных рудных тел, нередко сочленяющихся друг с другом по простиранию и по падению</p>	<p>Пирит, пирротин, сфалерит, галенит, арсенопирит, марказит, мельничковит, буланжерит, джемсонит, халькопирит, валлерит, блестящая руда, самородное серебро и золото, аргентит, шпиргарит, магнетит, сульфовисмутиты свинца, раммельсбергит*, ульманит*, брейгаунтит*, дискразит*, калаверит (?)*, тетрадимит*, теллуровисмутит*, висмутит*, висмут самородный, бурнонит, каситерит, шеллит, алтаит, гессит</p> <p>Аксинит, кварц, карбонат, хлорит, флюорит, серицит, эпидот, мусковит, флогопит, турмалин, стеллерит, тремолит, актинолит, серпентин, диопсид, волластонит, силлиманит, гранат, форстерит, роговая обманка, хондродит, графит, альбит, рутил, апатит, сфен, топаз, датолит, шпинель</p>	<p>Графит-кальцитовые, графит-кварц-серицитовые породы с силлиманитом, роговики и скарны волластонит-гранатового, гранат-пироксенового и кальцит-тремолитового состава с форстеритом, флогопитом, серпентином, хондродитом, шпинелью, эпидотом и др.</p> <p>Кварц-турмалин-слюдистая, кварц-аксинитовая</p> <p>Кварц-пирит-арсенопиритовая, пирит-халькопирит-пирротиновая</p>	<p>Гранат: Mn, Sn, Ga, V, Ti; пироксен и волластонит: Mn, Ti, Sn; серпентин: Sr, Be, Mn; флогопит: Mn, Sn, Ga, V, Ti, Ba</p> <p>Аксинит: Nb, Ga, Sr, Be, Mo, W, Zr, TR, V, Ti; мусковит: Nb, Ta, Ti, Ga, Li, Be, Sn, Mo, TR, W; кварц: Sn, Be, W; карбонат: TR</p> <p>Пирит: Co, Ni, Bi, Ag, Au, Sn, Se, Te, Cu, As, Sb; пирротин: Co, Ni, Au, Bi, Se, Te, Ag, Sn, Ti, Cu, Sb, As; арсенопирит: Co, Ni, Ag, Cu, Sn, Se, Bi, Sb; халькопирит: In, Sn, Cd, Bi; кварц: As, Fe, Cu, Mo</p>

Таблица 24 (продолжение)

Геолого-структурные особенности	Минеральный состав руд	Основные минеральные ассоциации	Главные минералы-носители и их ведущие элементы-примеси
		Существенно сфалеритовая, существенно галенитовая, сульфантимоцитовая	Сфалерит: Cd, In, Ga, Sn, Ni, Ag, Bi, Cu, Co, Se, Te; галенит: Ag, Bi, Tl, Te, Se, Au, Sb, As, Sn, Cu, Cd; буланжерит: Ag, Tl, Sn, Bi, Se, Cd, Cu; серицит и хлорит: Tl, Ga
		Кварцевая, кварц-флюоритовая, флюорит-кальцитовая, деолитовая, кальцитовая	Флюорит: Sr; стеллерит: Ga, Sr; кальцит: Sr
2. Почечуевское месторождение			
1. Геологическая позиция Месторождение приурочено к выходам пород нижнекаледонского сланцевого комплекса, обнажающихся в северо-западном крыле Кличкинско-Кадаинской антиклинали и осложненных разрывными нарушениями	Арсенопирит, пирит, сфалерит, буланжерит, галенит, халькопирит, пирротин, станнин, марказит, мельникит, блеклая руда, касситерит, валлерит*, борнит, кубанит*, аргентит, пираргирит, самородные серебро и золото, магнетит, бурнонит*, шеелит, алтаит*	Кварц-турмалин-слюдисто-аксинитовая	Аксинит: Nb, TR, Ga, Be, Sn, Sr, W, V, Tl, Zr
2. Состав вмещающих пород Метаморфизованные кремнистые известково-углистые, глинисто-углистые и известковистые сланцы, включающие прослой доломитов, известняков и песчаников	Кварц, карбонат, серицит, хлорит, флюорит, серпентин, тремолит, актинолит, аксинит*, турмалин, графит, мусковит, эпидот, диоксид, рутил, апатит, сфен, флогопит	Кварц-пирит-арсенопиритовая	Пирит: Ni, Bi, Sn, Ag, Cu, Pb, Sb, As, Se, Te; арсенопирит: Co, Ni, V, Bi, Ag, Sn, Sb, Pb, Au, Cu, Se, Te; кварц: As, Fe, Cu
		Сфалерит-пиритовая, галенит-буланжеритовая	Сфалерит: Cd, In, Ga, Sn, Bi, Se, Te, Cu, As, Sb, Ag, Tl; галенит: Ag, Tl, Sn, Bi

Таблица 24 (продолжение)

Геолого-структурные особенности	Минеральный состав руд	Основные минеральные ассоциации	Главные минералы-носители и их ведущие элементы-примеси
3. Морфология рудных тел Жилы, линзы и залежи пластообразной формы			In, Se, Te, Cd, Au, Cu; буланжерит: Ag, Tl, In, Bi, Cu, Sn, As; серицит и хлорит: Tl, Ga
		Кварц-флюорит-карбонатная	Кальцит и флюорит: Sr
3. Чупинское месторождение			
1. Геологическая позиция Месторождение приурочено к выходам нижнекаледонских сланцевых толщ, слагающих северо-западное крыло Кличкинско-Кадаинской антиклинали	Арсенопирит, пирит, сфалерит, галенит, пирротин*, халькопирит*, станнин*, блеклая руда*, марказит*, мельникит*, валлерит*, борнит*, кубанит*, буланжерит, магнетит*, минералы группы пираргирит-пруссита*, самородное серебро*, касситерит	Кварц-мусковит-турмалиновая	Кварц: Sn, Be; мусковит: Nb, Be, Sr, Ga, Sn, Mo, Li, TR; турмалин: Ga, Sn, Sr, Be, TR, V, Tl
2. Состав вмещающих пород Метаморфизованные кремнистые известково-углистые, глинисто-углистые и известковистые сланцы с прослоями известняков и песчаников, прорванные биотитовыми и аплитовидными гранитами	Кварц, карбонат, серицит, хлорит, турмалин, мусковит, флюорит, серпентин, эпидот, аксинит*, рутил, ильменит, апатит, сфен, графит, актинолит	Кварц-пирит-арсенопиритовая	Арсенопирит: Co, Ni, Bi, Sn, Ag, Cu, Se, Te; пирит: Ag, Cu, Sn, Se, Cd; серицит: Ga, Tl, Tl, V, Sr; хлорит: Ga, Tl, V, Sr
3. Морфология рудных тел Жилы, линзы		Существенно сфалеритовая, существенно галенитовая Кварц-карбонатная	Сфалерит: Cd, In, Ga, Sn, Cu, Bi, As, Sb, Ag; галенит: Tl, Ag, Bi, Sn, Sb, As, In, Cu, Cd

Таблица 24 (продолжение)

Геолого-структурные особенности	Минеральный состав руд	Основные минеральные ассоциации	Главные минералы-носители и их ведущие элементы-примеси
4. Наменское месторождение			
<p>1. Геологическая позиция Месторождение расположено в гранитах Урулонгуевского комплекса, слагающих ядро Кличкинско-Кадаинской антиклинали</p> <p>2. Состав вмещающих пород Роговообманковые и биотит-роговообманковые граниты, включающие многочисленные останцы осадочных пород, в целом переработанных в процессе ассимиляции; по составу они чаще всего отвечают кварцевым диоритам</p> <p>3. Морфология рудных тел Вытянутые штокервовые зоны</p>	<p>Пирит, сфалерит, галенит, халькопирит, пирротин, арсенопирит, марказит, мельниковит, буланжерит, блеклая руда, станнин, пираргирит, аргентит, прустит*, вальерит, борнит*, серебро самородное, касситерит, магнетит, гематит</p> <p>Альбит, серицит, хлорит, кварц, калиевый полевой шпат, карбонат, мусковит, флюорит, эпидот, десмин, каолинит, тренит, турмалин, апатит, рутил, ильменит, топаз, аксинит</p>	<p>Альбит-кальцит-мангансидеритовая</p>	<p>Альбит: Ga, Be, Sn, Mo, V, Sr, Li, TR</p>
	<p>Кварц-мусковит-флюоритовая</p>	<p>Мусковит: Ti, Sn, Be, Mo, W, Li, Sr, TR; кварц: Sn; флюорит: Be, TR</p>	
	<p>Кварц-серицит-хлорит-пиритовая</p> <p>Кварц-пирит-арсенопиритовая, существенно сфалеритовая, существенно галенитовая</p>	<p>Пирит: Ni, Se, Sn, Ag, As; хлорит: Ga, Sn, Ti, V, Cu; серицит: Ti, Ga, Sr; сфалерит: Cd, In, Sn, Cu, Ni, Ag, Sb; галенит: Ag, Bi, Ti, Cd, Sb, In, Sn</p>	
	<p>Кварц-флюоритовая, полевошпатовая, цеолитовая</p>	<p>Флюорит: Sr; адуляр: V, Be, Sr; десмин и каолинит: Ga, Sr</p>	
5. Рудопроявление Северная Шахта			
<p>1. Геологическая позиция Рудопроявление залегает среди гранитов Урулонгуевского комплекса, обнажающихся в ядре Кличкинско-Кадаинской антиклинали</p>	<p>Пирит, сфалерит, галенит, арсенопирит, халькопирит, пирротин, марказит, магнетит*, мушкетовит*, вальерит*, кубанит*, буланжерит*, самородное серебро*, касситерит*</p>	<p>Кварц-мусковитовые грейзены, анбитага</p>	<p>Кварц: Be; мусковит: Ti, Ga, Be, Sn, Sr, Li; турмалин: Be, Ga, Sn, Li, Sr, TR</p>

Таблица 24 (продолжение)

Геолого-структурные особенности	Минеральный состав руд	Основные минеральные ассоциации	Главные минералы-носители и их ведущие элементы-примеси
<p>2. Состав вмещающих пород Роговообманковые и биотит-роговообманковые граниты, включающие мелкие останцы осадочных пород (сланцев, известняков)</p> <p>3. Морфология рудных тел Жилы и штокервовые зоны</p>	<p>Кварц, карбонат, альбит, калиевый полевой шпат, мусковит, серицит, хлорит, турмалин, флогопит, флюорит, рутил, ильменит, апатит, сфен*, аксинит</p>	<p>Кварц-пирит-серицитовая, сфалерит-галенитовая</p>	<p>Пирит: Ni, Bi, Ag, Cu, As; сфалерит: Cd, In, Co, Bi, Ag, Cu, Sb; галенит: Ag, Bi, Sn, Cd, Sb, Cu</p>
		<p>Кварц-карбонатная</p>	<p>Кальцит и флюорит: Sr</p>
6. Файтеловское рудопроявление			
<p>1. Геологическая позиция Рудопроявление находится среди гранитов Урулонгуевского массива, обнажающихся в ядре Кличкинско-Кадаинской антиклинали</p> <p>2. Состав вмещающих пород Гранито-гнейсы и аляскитовые граниты</p> <p>3. Морфология рудных тел Штокервовые зоны</p>	<p>Пирит, галенит, сфалерит, халькопирит, пирротин, кварц, карбонат, серицит, хлорит, альбит, мусковит, апатит, сфен, турмалин, рутил, ильменит, эпидот</p>	<p>Кварц-мусковитовые грейзены, альбититы</p>	<p>Мусковит: Be, Li, TR</p>
		<p>Кварц-пирит-серицитовая, сфалерит-галенитовая</p>	<p>Сфалерит: Cd, In, Sn, Ag, Cu, Sb; галенит: Ag, Bi, Sb, Cd; серицит и хлорит: Ti, Ga</p>
7. Дмитриевское рудопроявление			
<p>1. Геологическая позиция Рудопроявление залегает в гранитах Урулонгуевского комплекса, обнажающихся в ядре Кличкинско-Кадаинской антиклинали</p>	<p>Пирит, галенит*, сфалерит*, халькопирит*, кварц, карбонат, серицит, хлорит, мусковит, турмалин, альбит, калиевый полевой шпат, галит, плеонаст*, рутил, ильменит, апатит, сфен</p>	<p>Кварц-мусковитовые грейзены с турмалином, альбититы, березиты</p>	<p>Кварц: Be, Sn, TR, Li; мусковит: Ti, Ga, Nb, Be, Mo, Sn, V, Li, TR; турмалин: Be, Sn, Sr, Ga, V, Ti, Li, TR; галит и плеонаст: Ga, Zr, Be</p>

Таблица 24 (продолжение)

Геолого-структурные особенности	Минеральный состав руд	Основные минеральные ассоциации	Главные минералы-носители и их ведущие элементы-примеси
2. Состав вмещающих пород Аляскитовые граниты 3. Морфология рудных тел Штокверковые зоны			
8. Кличкинское месторождение			
1. Геологическая позиция Месторождение приурочено к выходам нижнепалеозойских карбонатных толщ, слагающих северо-западное крыло Кличкино-Кадаинской антиклинали	Галенит, сфалерит, пирит, арсенопирит, пирротин, халькопирит, блеклая руда, буланжерит, валлерит, пирраргирит, аргентит*, самородное серебро, зелигманит*, цинкениит*, бурнонит*, кубанит, марказит, мельниковит*, шеселит, магнетит	Пироксен-амфиболовые скарны с флогопитом, серпентином, эпидотом, шпинелью и др.	Флогопит: Ga, Tl, Mn, Sn, Ti, V; серпентин: Ga, Be, Mn, Sr
2. Состав вмещающих пород Чередование белых массивных и обогащенных углестым веществом серых грубослоистых доломитов и известняков с подчиненными прослоями песчаников и филлитовидных сланцев, прорванных гранитоидами, участками интенсивно метаморфизованных и скарнированных	Кварц, флюорит, мусковит, флогопит, карбонат, серпентин, турмалин, серицит, хлорит, тремолит, форстерит, диопсид, скаполит, шпинель, топаз, селлаит, аксинит, рутил, ильменит, апатит, сфен, графит эпидот	Кварц-мусковит-турмалин-альбитовая, флюорит-слодистая	Кварц: Be, Sn; мусковит: TR, Ga, Tl, Nb, Mo, Sr, Sn, V, Li, Be; флюорит: Be, TR, Sn, Mo, V, Sr, Li; турмалин: Be, Sn, Sc, Sr, Ga, V, Ti
3. Морфология рудных тел Жилы, уплощенной формы трубы, гнезда		Кварц-пирит-арсенопиритовая	Пирит: Se, Cu, Ni, As, Cd
		Существенно сфалеритовая, существенно галенитовая	Сфалерит: Cd, In, Ga, Sn, Bi, Ag, Se, Te, Cu, Ni; галенит: Ag, Bi, Se, Te, Tl, Sb, As, Sn, Cu, Cd; серицит: Tl, Ga, Sr, Ti; кварц: Fe, Pb, Zn, Cu, Ag

Таблица 24 (окончание)

Геолого-структурные особенности	Минеральный состав руд	Основные минеральные ассоциации	Главные минералы-носители и их ведущие элементы-примеси
		Кварц-флюоритовая, цеолит-кальцитовая	Флюорит: Sr
9. Мыльняковско-Хоркиринское месторождение			
1. Геологическая позиция Месторождение приурочено к кеолиту карбонатных пород, залегающему среди гранитов Урулюнгуевского массива, слагающих ядро Кличкино-Кадаинской антиклинали	Галенит, сфалерит, халькопирит, блеклая руда*, пирит, арсенопирит*, марказит*, пирротин*, валлерит*, самородное серебро*, и золото*, электрум*, аргентит*, касситерит*, магнетит*, борнит*, стефанит*, полибазит*, штрмейерит*	Пироксеновые и амфиболовые скарны с флогопитом, серпентином, скаполитом, шпинелью и др.	Роговая обманка: Mn, Ga, V, Ti, Cu, Sr; серпентин: Ga, Be, Sr, Mn; флогопит: Tl, Ga, Mn, Sn, Ti, V
2. Состав вмещающих пород Доломиты, скарны и биотит-рогообманковые граниты	Кварц, карбонат, хлорит, серицит, микроклин*, альбит*, мусковит*, флогопит*, турмалин*, серпентин*, пироксен, форстерит, скаполит, гранат, роговая обманка, флюорит*, рутил, ильменит, графит, апатит, тальк, топаз*, аксинит, шпинель, эпидот	Мангансидерит-альбит-микроклиновая, кварц-мусковит-турмалиновая	Микроклин: Nb, Ta, Ga, Tl, Sn, Be, Sr, TR; турмалин: Be, Sn, Ga, Sc, Sr, V, Ti; мусковит: Tl, Ga, Nb, Ta, Sn, W, TR, Be, Li, V, Sr; кварц: Sn, Be, Li, TR
3. Морфология рудных тел Трубы, жилы, гнезда		Существенно сфалеритовая, существенно галенитовая, кварц-карбонатная	Сфалерит: Cd, In, Sn, Ag, Cu, Co, Ni, Sb; галенит: Ag, Bi, Sb, Au, Cd, Cu; халькопирит: Se, Te, Ag, Zn, Bi, Sn, Cd, As; хлорит: Ga, Sr, V, Cu; серицит: Ga, Tl, Sr

Примечание. Жирным шрифтом выделены ведущие минералы, курсивом — второстепенные. Звездочкой отмечены минералы, впервые обнаруженные автором.

количественные соотношения между слагающими руду минералами варьируют в самых широких пределах, что в конечном счете и определяет характерные особенности руд различных месторождений. Так, встречаются, например, специфические мышьяково-серноколчеданные руды и руды свинцово-цинковые, почти совсем лишенные сульфидов железа. Широкое развитие получили руды, в жильной массе которых резко преобладают кварц и карбонаты, и руды, обогащенные алюмосиликатами (полевыми шпатами, слюдами, хлоритом) и т. д. Отмеченное непостоянство в количественном распространении тех или иных минералов, разумеется, не может быть объяснено различным генезисом месторождений, так как различные типы руд часто наблюдаются в пределах одного и того же рудного поля и даже в одном месторождении, слагая отдельные его участки.

В этом отношении следует полностью согласиться с мнением С. С. Смирнова (1934, 1955), что все свинцово-цинковые месторождения Приаргунского полиметаллического пояса представляют собой единую генетически связанную рудную серию. Это находит в районе подтверждение не только в общности геологической обстановки и тесной сгруппированности месторождений в пространстве, но и в глубоком сходстве их общего минерального состава, парагенетических ассоциаций минералов и их возрастных соотношений, в повторяющейся на различных месторождениях стадийности рудоотложения и наблюдаемом комплексе сопутствующих элементов-примесей.

Выявленные различия: неодинаковое количество проявленных стадий минерализации на отдельных месторождениях, наблюдаемая специфичность минеральных ассоциаций, количественные соотношения минералов и т. п., согласно исследованиям автора, обусловлены в основном двумя причинами: 1) особенностями проявления разрывных нарушений в процессе формирования каждого конкретного месторождения и 2) изменением литологического состава вмещающих пород. Первый фактор предопределил пространственное распределение и масштаб проявления отдельных стадий минерализации; второй оказал значительное влияние на формирование парагенетических ассоциаций минералов, кристаллизовавшихся в ту или иную стадию минерализации.

Сравнительный анализ схем последовательности минералообразования в отдельных месторождениях позволил наметить в первом приближении общую схему процесса минерализации для всего района в целом. Общий процесс формирования руд свинцово-цинковых месторождений Кличкинского рудного района может быть представлен в следующем обобщенном виде: 1) полевошпатовая стадия, 2) грейзеновая, 3) колчеданная, 4) полиметаллическая, 5) кварц-флюорит-карбонатная.

Выделенные стадии минерализации охватывают только один гидротермальный этап минералообразования, последовавший после

Типоморфные особенности свинцово-цинковых месторождений Кличкинского рудного района, залегающих в породах различного литологического состава

Месторождение и рудопроявление	Вмещающие породы	Морфология и размеры рудных тел	Руда	Типы околорудных изменений	Химический состав руд
Савинское № 5, Чупицкое, Почкуевское	Сланцы (известковистые, кремнистые, глинистые и др.)	Достаточно протяженные линзы, жилы и пластообразные залежи	Пирит-пирротин-арсенопирит-сфалеритовая с галенитом, массивные и вкрапленные	Скарны, роговики, кварц-аксинитовые, кварц-мусковитовые, кварц-мусковит-турмалиновые и флюорит-слюдистые метасоматиты; пиритизация, окварцевание и хлоритизация	<i>Железо, цинк, свинец, сера, мышьяк, бор, фтор, кремний, калий, натрий, алюминий, магний, медь, висмут, серебро, олово, кобальт, никель, сурьма, золото, галлий, таллий, кадмий, индий, селен, теллур, вольфрам, молибден, бериллий, литий, редкие земли, ниобий, тантал</i>
Каменское, Северная Шахта, Дмитриевское, Файтеловское	Гранитоиды	Относительно проявленные мидерализованные зоны дробления	Пирит-сфалерит-галенитовые, гнездово-прожилково-вкрапленные	Кварц-мусковит-турмалиновые и кварц-мусковит-флюоритовые (топазовые) грейзены, альбититы, микроклиниты и березиты	<i>Железо, цинк, свинец, сера, кремний, алюминий, натрий, калий, кальций, магний, медь, висмут, серебро, олово, никель, галлий, таллий, сурьма, золото, кадмий, индий, селен, теллур, вольфрам, молибден, бериллий, литий, редкие земли, ниобий, тантал, бор, фтор</i>
Мыльняковско-Хоркиринское, Кличкинское, Мелентьевское, Савинское и др.	Карбонатные породы (доломиты, известняки и др.)	Гнезда, жилы, трубы, сравнительно небольших размеров	Существенно галенитовые со сфалеритом, массивные	Скарны, серпентин-флогопитовые и флюорит-слюдистые метасоматиты, окварцевание и хлоритизация	<i>Свинец, цинк, сера, кремний, магний, фтор, калий, натрий, алюминий, железо, сурьма, медь, висмут, серебро, олово, галлий, золото, кадмий, индий, селен, теллур, вольфрам, молибден, бериллий, литий, редкие земли, ниобий, тантал, бор</i>

Примечание. Курсивом выделены ведущие элементы руд.

Главные минеральные ассоциации и последовательность их образования в свинцово-цинковых месторождениях Кличкинского рудного района

Стадия	Главные минеральные ассоциации	Минерал
Полевошпатовая*	Мангансидерит-альбит-калицикатовая	<i>Альбит**</i> , <i>калиевый полевой шпат</i> (микроклин), мангансидерит, магнетит, ильменит, рутил, апатит, гематит
Грейзеновая*	Кварц-мусковит-турмалиновая, кварц-турмалиновая, кварц-аксинитовая, кварц-топазовая, кварц-мусковит-флюоритовая, слюдясто-флюоритовая	<i>Кварц</i> , <i>мусковит</i> , <i>турмалин</i> , <i>флюорит</i> , <i>топаз</i> , <i>аксинит</i> , <i>флогопит</i> , <i>альбит</i> , <i>касситерит</i> , <i>берилл***</i> , <i>бертрандит</i> , <i>эвклаз</i> , <i>бавенит</i> , <i>фенакит</i> , <i>селлаит</i> , <i>шеелит</i> , <i>серпентин</i>
Колчеданная	Кварц-пирит-арсенопиритовая	<i>Арсенопирит</i> , <i>пирит</i> , <i>кварц</i> , <i>серицит</i> , <i>хлорит</i> , <i>актинолит</i> , <i>тремолит</i> , <i>турмалин</i>
	Пирит-халькопирит-пирротиновая	<i>Пирит</i> , <i>пирротин</i> , <i>халькопирит</i> , <i>кубанит</i> , <i>валлериит</i> , <i>сфалерит</i> , <i>станнин</i> , <i>висмутин</i> , <i>брейтгауптит</i> , <i>раммельсбергит</i> , <i>самородные висмут</i> , <i>серебро</i> и <i>золото</i> , <i>тетрадимит</i> , <i>калаверит</i> , <i>теллуровисмутит</i> , <i>рутил</i> ; <i>ганит</i> , <i>кварц</i> , <i>серицит</i> , <i>хлорит</i> , <i>турмалин</i> , <i>полевые шпаты</i> , <i>плеонаст</i>
Полиметаллическая	Существенно сфалеритовая	<i>Сфалерит</i> , <i>халькопирит</i> , <i>пирротин</i> , <i>пирит</i> , <i>кубанит</i> , <i>валлериит</i> , <i>борнит</i> , <i>станнин</i> , <i>рутил</i> ; <i>кварц</i> , <i>хлорит</i> , <i>серицит</i> , <i>карбонат</i> , <i>полевые шпаты</i>
	Существенно галенитовая	<i>Галенит</i> , <i>сфалерит</i> , <i>буланжерит</i> , <i>аргентит</i> , <i>пираргирит</i> , <i>самородное серебро</i> , <i>блеклая руда</i> , <i>халькопирит</i> , <i>пирит</i> , <i>мельничковит</i> , <i>марказит</i> , <i>магнетит</i> , <i>(пирротин)</i> , <i>самородное золото</i> , <i>электрум</i> , <i>дискразит</i> , <i>алтаит</i> , <i>гессит</i> , <i>стефанит</i> , <i>полибазит</i> , <i>штроейерит</i> , <i>прустит</i> , <i>сульфовисмутиты</i> <i>свинца</i> , <i>зелигманит</i> , <i>цинкенит</i> ; <i>кварц</i> , <i>серицит</i> , <i>хлорит</i> , <i>карбонат</i> , <i>полевые шпаты</i>
	Сульфантимонитовая	<i>Буланжерит</i> , <i>джерсонит</i> , <i>галенит</i> , <i>арсенопирит</i> , <i>касситерит</i> , <i>аргентит</i> , <i>самородное серебро</i> , <i>пирит</i> , <i>марказит</i> , <i>мельничковит</i> , <i>бурнонит</i> , <i>ульманит</i> ; <i>кварц</i> , <i>карбонат</i> , <i>хлорит</i> , <i>серицит</i>
Кварц-флюорит-карбонатная	Кварц-флюоритовая	<i>Флюорит</i> , <i>кварц</i> , <i>хлорит</i> , <i>полевые шпаты</i> , <i>пирит</i> , <i>марказит</i>
	Цеолиит-кальцитовая	<i>Кальцит</i> , <i>цеолит</i> , <i>каолинит</i> , <i>хлорит</i> , <i>флюорит</i> , <i>пирит</i> , <i>марказит</i>

* Исследования последних лет (Т. А. Иванова, Г. М. Мейтув, ИМГРЭ) показали, что в составе раяных (досульфидных) метасоматических изменениях вмещающих пород следует различать минеральные ассоциации двух возрастов: палеозойские и мезозойские. Особенно у первых является боровая специализация (турмалин и др.), вторых — фторовая (флюорит, топаз и др.) и редкометаллическая минерализация.

** Выделены ведущие минералы.

*** Берилл, фенакит, бертрандит, эвклаз находятся в аксессуарных количествах.

Стадии	Вмещающие породы										
	Сланцы			Граниты				Доломиты			
	Савинское №5	Поченуевское	Читинское	Каменское	С. Шахта	Файтеловское	Дмитриевское	М. Зарка-Динское	Кличинское	Савинское №5	Меле-Ниловское
Полевошпатовая				■	■	■	■	---			
Грейзеновая	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	---
Колчеданная	■	■	■	■	■	■	■	---	■	■	---
Полиметаллическая	■	■	■	■	■	■	■	---	■	■	■
Кварцфлюорит-карбонатная	■	■	■	■	■	■	■	---	■	■	---

■ 1 ■ 2 ■ 3 --- 4

Фиг. 11. Относительная интенсивность проявления стадий минерализации в свинцово-цинковых месторождениях Кличинского района

Стадии проявлены: 1 — весьма интенсивно, 2 — интенсивно, 3 — слабо, 4 — весьма слабо

внедрения даек лампрофиров. Контактново-метасоматическое образование, как показали наши работы, а также исследования В. В. Архангельской и Г. М. Лобановой, являются додайковыми, они не связаны с оруденением, как это считалось ранее, и поэтому нами не рассматриваются. Сводка минеральных ассоциаций, соответствующих выделенным стадиям, приведена в табл. 26. Представление об относительной интенсивности проявления минеральных ассоциаций этих стадий минерализации в каждом из месторождений дает фиг. 11.

Ниже в порядке возрастной последовательности приводится краткая характеристика минеральных ассоциаций.

1. Полевошпатовая стадия соответствует времени формирования одной из наиболее ранних минеральных ассоциаций, обуславливающих предрудное гидротермальное изменение. Наибольшей интенсивности рассматриваемая стадия достигла в месторождениях, залегающих в гранитоидных породах (Каменском, Северной Шахте, Файтеловском и др.). Полевошпатовое изменение проявилось после внедрения самых молодых даек лампрофиров и контролируется разрывными нарушениями. Минеральная ассоциация данной стадии проявлена в участках максимального дробления вмещающих гранитоидов, метаморфизованных в существенно

альбитовые и микроклиновые породы, обогащенные карбонатом (мангансидеритом), хлоритом, рутилом, апатитом, ильменитом, магнетитом. При этом, как было установлено В. В. Архангельской на примере Каменского месторождения, количество новообразованного полевого шпата, карбоната и рудных минералов в измененной породе находится в прямой зависимости от количества темноцветных минералов и основности плагиоклазов исходной породы.

В альбитизированных роговообманковых и биотит-роговообманковых гранитах, а также измененных сиенитах ведущими новообразованными минералами являются альбит и калиевый полевой шпат. Карбонаты и рудные минералы пользуются в этих породах незначительным развитием, тогда как в подвергшихся изменению кварцевых диоритах и особенно в лампрофирах они являются главными минералами.

Тесная пространственная связь полевошпатизации с последующими изменениями, четкий их контроль одними и теми же разрывными нарушениями, появление полевых шпатов в сульфидных и заключительных стадиях минералообразования (в Каменском месторождении альбит и калиевый полевой шпат кристаллизовались совместно с сульфидными минералами) дают возможность рассматривать эту минеральную ассоциацию как возникшую в наиболее раннюю стадию единого гидротермального процесса, проявившегося после внедрения самых молодых мезозойских даек лампрофиров и завершившегося рудоотложением.

Для количественной оценки процессов изменения, связанных с проявлением полевошпатовой стадии, в табл. 27 и 28 приведены результаты полных силикатных анализов микроклиновых и альбитовых пород и неизмененных гранитов Мыльниковско-Хоркинского и Каменского месторождений¹. Эти анализы показывают, что в нацело измененных роговообманковых и биотит-роговообманковых гранитах (в существенно альбитизированных и микроклинизированных породах) по сравнению с неизмененными наблюдается резкое повышение содержания щелочей (K_2O и Na_2O) и значительное уменьшение CaO , MgO , Fe_2O_3 и FeO . Количество Al_2O_3 , SiO_2 и TiO_2 в измененной и неизмененной породе остается примерно постоянным.

Химическое и спектральное изучение полевошпатизированных пород показало наличие в них довольно большого количества элементов-примесей. Наиболее характерными среди них являются олово и таллий, концентрации которых достигают тысячных долей процента, а также встречающиеся в аксессуарных количествах бериллий, ниобий, тантал и редкие земли. Количество галлия в измененных и неизмененных породах не испытывает существен-

¹ Произвести пересчет результатов имеющихся в нашем распоряжении полных химических анализов пород по методу Н. И. Наковняка не представилось возможным из-за отсутствия определения объемных весов.

Таблица 27

Результаты полного химического анализа калищпатовых пород и неизмененных биотит-роговообманковых гранитов Мыльниково-Хоркиринского месторождения

Порода	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	H ₂ O-	H ₂ O+	П.п.п.	Σ
Неизмененный биотитово-роговообманковый гранит	62,76	0,55	15,46	Необн.	5,39	1,00	3,24	2,68	3,10	4,12	0,69	0,04	1,25	100,28
Калищпатовая	69,80	Сл.	15,33	—	1,01	Сл.	0,31	1,06	1,58	10,15	0,06	0,029	0,17	99,76

Аналитики А. А. Соломинская и Т. Н. Капитонова, ИМГРЭ, 1958 г.

Таблица 28

Результаты полного химического анализа альбитовых пород и неизмененных роговообманковых гранитов Каменского месторождения (по данным В. В. Архангельской, 1959)

Порода	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	H ₂ O-	H ₂ O+	BaO	Σ
Неизмененный роговообманковый гранит	64,94	0,55	17,7	1,49	3,21	0,056	0,76	3,26	3,05	3,93	0,21	1,37	0,43	100,43
Альбитовая	65,25	0,44	21,35	0,3	0,85	0,12	0,23	0,7	7,54	1,69	0,08	1,19	—	99,78

Химическая лаборатория ИГЕМ АН СССР.

Таблица 29

Результаты полного химического анализа грейзенизированных и неизмененных биотит-роговообманковых гранитов Мыльниково-Хоркиринского месторождения

Порода	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	H ₂ O ⁻	H ₂ O ⁺	П.п.п.	Σ
Граниты	62,76	0,55	15,46	Необн.	5,39	1,00	3,24	2,68	3,10	4,12	0,04	1,25	0,69	100,28
Грейзенизированный гранит	67,0	0,43	23,31	1,30	1,29	0,03	0,94	0,57	1,35	2,35	0,20	0,88	0,49	99,96

Аналитики А. А. Соломинская, Н. П. Пахомова, ИМГРЭ, 1958.

Таблица 30

Результаты полного химического анализа аксинитовых пород и вмещающих кварц-графитовых сланцев месторождения Савинского № 5

Порода	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	H ₂ O ⁻	H ₂ O ⁺	П.п.п.	Σ
Кварц-графитовые сланцы	76,38	0,03	2,91	4,38	1,34	0,03	1,16	0,49	0,20	2,07	0,15	1,22	4,65	97,01
Аксинитовая	47,55	0,04	11,30	1,23	6,08	4,92	1,32	15,10	0,10	0,13	0,03	0,77	9,68	97,85

Аналитик Т. Н. Кашконова, ИМГРЭ, 1958.

Примечание. Большие потери при прокаливании объясняются присутствием в породе бора.

ных колебаний (0,001—0,003%). Его содержание в полевых шпатах, роговых обманках и слюдах неизмененного гранита близко содержанию галлия в замещивших их альбите и микроклине.

2. *Грейзеновая стадия* проявлена в той или иной степени во всех месторождениях Кличкинского района. Зоны грейзенизированных пород развиваются вдоль основных рудоконтролирующих нарушений, причем мощность их колеблется в весьма широких пределах, достигая иногда нескольких десятков метров. Грейзеновые образования накладываются на описанные выше зоны полевошпатизированных пород, замещают их, и в свою очередь пересекаются сульфидными жилами. Подобные факты неоднократно наблюдались на Мыльниково-Хоркиринском, Каменском, Чупинском, Савинском № 5 и других месторождениях. Интенсивность грейзенизации и состав минеральных ассоциаций, образовавшихся в эту стадию, во многом предопределяются литологическим составом вмещающих пород (см. фиг. 11).

Среди вторичных образований в гранитоидах наиболее характерными минералами являются: кварц, мусковит, турмалин, топаз и флюорит; в сланцах — аксинит, турмалин, слюды, карбонат. Доломиты и известняки в участках, непосредственно контактирующих с грейзенизированными гранитами, обогащены слюдой и флюоритом.

Таблица 31
Результаты полного химического анализа грейзенизированных разновидностей карбонатных пород и неизмененных доломитов Кличкинского месторождения

Порода	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	BeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	H ₂ O-	H ₂ O+	CO ₂	F	Н. о.	κ	γ	Итого
Доломиты серые *	0,44	—	—	Сл.	—	—	19,40	31,01	—	—	0,02	—	—	—	3,25	99,62	—	—
Доломиты белые *	0,2	—	—	0,08	—	—	19,00	32,06	—	—	0,06	—	—	—	1,56	99,31	—	—
Слюдисто-флюоритовая **	33,71	Сл.	18,29	3,78	5,33	0,50	9,84	11,17	0,37	4,97	0,47	4,00	0,58	11,86	—	104,87	4,98	99,89

* Аналитик М. О. Степан (МГРБ). ** Аналитик А. А. Угарова (ИМГРЭ).

В качестве второстепенных и аксессуарных минералов в перечисленных метасоматитах устанавливаются касситерит, берилл, бертраундит, фенакит, эвклаз, бавенит, селлаит, шеелит и др.

Дайки лампрофиров в зоне грейзенизированных пород также значительно изменены и по существу представляют собой агрегат серицита, хлорита, кварца и рудных минералов, в ассоциации с которыми иногда отмечаются флюорит и серпентин.

Вопрос о временных и пространственных соотношениях процессов альбитизации, микроклиннизации и грейзенизации детально рассматривался как на материале месторождений Восточного Забайкалья (Григорьев и Доломанова, 1955), так и многих других районов и типов месторождений (Беус, Северов и др., 1962; Гинзбург, 1960). Повсеместно устанавливается, что полевошпатализация предшествует грейзенизации, последняя при расширении сферы активности грейзенизирующих растворов может накладываться на замещенные альбитом и микроклином породы. Имеющиеся в нашем распоряжении данные согласуются с изложенными представлениями о взаимоотношениях альбитизации и грейзенов, которые разделяются и В. В. Архангельской (1963).

В заключение описания грейзеновой стадии в табл. 29, 30, 31 приводятся результаты анализов измененных грейзенизированных и исходных пород (гранитов, сланцев, доломитов).

Минерализующие растворы, взаимодействуя с различными по литологическому составу породами, вызывали в них различные по своему характеру изменения:

1. В кварц-мусковит-турмалиновых грейзенах по сравнению с неизмененными биотит-роговообманковыми гранитами наблюдается резкое увеличение содержания (привнос) Al_2O_3 и MnO и уменьшение (вынос) Na_2O , K_2O , MgO и CaO . Количество SiO_2 в породе не испытывает существенных колебаний (табл. 29).

2. При замещении богатых кремнеземом сланцев аксинитом в новообразованной породе отмечается возрастание количества Al_2O_3 , CaO , MnO , бора и вынос SiO_2 и щелочей (табл. 30).

3. В грейзенизированных карбонатных породах по сравнению с их чистыми разновидностями резко увеличиваются содержания SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , FeO , K_2O , F , отмечается весьма незначительное повышение Na_2O , MnO и уменьшение CaO и MgO (табл. 31).

Минералы, возникшие в грейзеновую стадию, характеризуются наличием весьма широкого спектра элементов-примесей. Грейзенизированные породы по сравнению с вмещающими неизмененными, как правило, заметно обогащены галлием, оловом, индием, фтором и бором и обеднены таллием (десятитысячные доли процента). Из прочих элементов в грейзенизированных породах в виде характерных аксессуариев развиты бериллий, тантал, ниобий, литий, редкие земли, вольфрам и молибден.

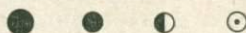
3. *Колчеданная стадия.* С проявлением этой стадии минерализации связано накопление мышьякового и серноколчеданного оруденения в районе. Минеральная специфика колчеданных руд,

пространственная обособленность их проявлений и ясные секущие взаимоотношения с продуктами более ранних и поздних минеральных ассоциаций позволяют выделить эти образования в самостоятельную стадию. Колчеданная стадия проявлена почти во всех месторождениях района, но профилирующей является только в месторождениях, залегающих в сланцах (Савинском № 5, Почекуевском, Чупинском и др.) (Фиг. 12).

Фиг. 12. Количественные соотношения основных минералов колчеданной стадии

Главные минералы: 1 — количественно преобладающие, 2 — количественно подчиненные, 3 — второстепенные, 4 — распространенная примесь

Минералы	Вмещающие породы									
	Сланцы			Граниты			Даломиты			
	Месторождения									
	Савинское	Почекуевское	Чупинское	Аманское	Савинское	Федоринское	Шадриновское	Аманское	Кличинское	Савинское
Пирит	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Арсенопирит	●	●	●	○	○	○	○	○	●	●
Пирротин	●	○	○						○	
Халькопирит	●	○	○						○	○
Кварц	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Серицит	●	○	○	●	●	●	●	●	○	○
Хлорит	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Карбонат	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Эпидот	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Турмалин, тремолит, актинолит	○	○	○						○	○



В месторождении Савинском № 5 в составе колчеданных руд нами выделяются две парагенетические ассоциации: кварц-пирит-арсенопиритовая (более ранняя) и пирит-халькопирит-пирротиновая; в Почекуевском, Чупинском и Кличинском месторождениях колчеданные руды представлены одной кварц-пирит-арсенопиритовой ассоциацией.

Ведущими минералами кварц-пирит-арсенопиритовой ассоциации являются арсенопирит, пирит, кварц и серицит; подчиненное значение имеют хлорит, актинолит, тремолит, турмалин. Следует подчеркнуть, что удельный вес мышьяковых образований в общем балансе колчеданных руд, как правило, очень незначителен и они имеют самостоятельное значение лишь в месторождениях Чупинского рудного поля (Чупинском, Михайловском и др.), Почекуевском, а также отмечаются в некоторых участках Савинского № 5 и Кличинского месторождений.

Пирит-халькопирит-пирротиновая ассоциация — ведущая ассоциация колчеданных руд месторождения Савинского № 5. На верхних горизонтах месторождения количественно всегда резко

преобладает пирит, а на нижних — пирротин; халькопирит развит в виде второстепенной примеси и редко образует крупные самостоятельные скопления. Для халькопирита этой ассоциации весьма характерны своеобразные «звездчатые» и округлой формы включения сфалерита, а для сфалерита — эмульсионные выделения станнина, пирротина и халькопирита. В малых количествах, но почти всегда, в пирротине присутствуют валлернит и кубанит; еще реже встречаются брейтгауптит, раммельсбергит, висмутин и висмут самородный, а в единичных случаях — тетрадимит, теллуrowисмутит, калаверит, самородное серебро и золото. Из сопутствующих нерудных минералов ведущая роль принадлежит кварцу, серициту и хлориту, иногда отмечается также актинолит, карбонат и редко турмалин.

Наблюдения в забоях и штуфах показывают двойственность текстурных взаимоотношений кварц-пирит-арсенопиритовой и пирит-халькопирит-пирротиновой ассоциаций. В одних случаях наблюдается как кварц-пирит-арсенопиритовые скопления пересекаются прожилками и жилами пирита и пирротина, в других случаях они образуют совместные агрегаты без видимых тектонических перерывов. При этом скопления арсенопирита, кварца и сопутствующий им крупнокристаллический пирит не подвергаются дроблению, а лишь окружены пирротинном, который оказывает интенсивное корродирующее воздействие на эти минералы.

В пределах Каменского месторождения и рудопроявлений Файтеловское, Дмитриевское и Северная Шахта, залегающих в гранитоидах, минеральные ассоциации характеризуемой стадии представлены прожилково-вкрапленными пиритовыми образованиями, сопровождаемыми интенсивной серицитизацией, хлоритизацией и окварцеванием вмещающих пород. Описываемое изменение, контролируемое дорудными дизъюнктивными нарушениями, отчетливо проявляется во всех измененных в ранние стадии породах (альбититах, микроклинитах и грейзенах), захватывая местами и неизмененные граниты. В участках наиболее интенсивной пиритизации гранитоидные породы превращены по существу в мелкозернистый агрегат серицита, кварца, хлорита и бурого карбоната (березиты).

В месторождениях, залегающих в доломитах, колчеданные руды, как правило, играют резко подчиненную роль (Кличкинское, Мыльниково-Хоркиринское, Савинское и др.).

Вопрос о привносе и выносе компонентов в течение формирования колчеданной стадии минерализации на основании имеющихся материалов может быть рассмотрен лишь в самых общих чертах и только с качественной стороны. Состав минеральных ассоциаций говорит о значительном накоплении серы, железа, мышьяка. Среди элементов-примесей преобладают те из них, которые оказываются способными накапливаться в сульфидах же-

леза: никель, кобальт, висмут, селен, теллур и, отчасти, золото, серебро, олово, сурьма. Таллий и галлий концентрируются исключительно в жильных алюмосиликатах.

4. *Полиметаллическая стадия.* В полиметаллическую стадию была отложена основная масса свинцово-цинковых руд. Проявлению этой стадии предшествовали тектонические перерывы, о чем свидетельствуют часто наблюдаемые (в забоях, штуфах и шлифах) факты дробления, пересечения и цементации ранее образованных минеральных ассоциаций минералами, возникшими в рассматриваемую стадию.

Богатые свинцово-цинковые руды наиболее характерны для месторождений, залегающих в доломитах (Мыльниковско-Хоркиринское и Кличкинское) и в меньшей степени в сланцах (Савинское № 5 и Почекуевское). Руды этих месторождений, как правило, характеризуются массивной и вкрапленной текстурой и весьма высокими содержаниями полезных компонентов.

Для месторождений, залегающих в гранитоидах, наиболее характерным является прожилковый и прожилково-вкрапленный тип оруденения с убогим содержанием свинца и цинка (Каменское и др.).

Сравнение минерального состава руд, образовавшихся в эту стадию, для различных типов месторождений приведено на фиг. 13. Из диаграммы видно, что относительное количество одних и тех же минералов для различных типов месторождений не одинаково. В этом отношении более показательны такие минералы, как галенит, сфалерит, карбонат, серицит, хлорит и полевые шпаты.

Полиметаллическая стадия характеризуется последовательным образованием трех минеральных ассоциаций: существенно сфалеритовой, существенно галенитовой и сульфоантимонитовой.

Существенно сфалеритовая ассоциация, наличие и количественная роль которой определяет промышленную ценность исследуемых руд в отношении цинка, представлена резко преобладающим темноокрашенным железистым сфалеритом с обильной эмульсионной вкрапленностью халькопирита, пирротина и реже станина. При этом в самих эмульсионных выделениях часто наблюдаются собственные структуры распада твердых растворов: борнита и валлерита — в халькопирите; халькопирита и кубанита — в пирротине. Среди жильных минералов широким распространением пользуются кварц, карбонат, хлорит и серицит. В некоторых случаях отмечаются относительно крупные скопления альбита и калиевого полевого шпата.

Существенно галенитовая ассоциация, определяющая промышленную ценность исследуемых руд в отношении свинца, характеризуется резким преобладанием галенита, с которым тесно ассоциируют незначительные количества светлоокрашенного сфалерита, халькопирита, блеклой руды, пиррита, марказита, мель-

Минералы	Вмещающие породы									
	Сланцы			Граниты			Доломиты			
	Месторождения									
	Сабинские	Починские	Читинские	Каменские	Севершино-Шатайские	Фрактальные	Арло-Давские	Кличкинские	Сабинские	Мельничинские
Галенит	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Сфалерит	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
буланжерит (джемсонит)	○	●	○	○	○	○	○	○	○	○
Пирротин	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Халькопирит	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Кварц	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Карбонат	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Серицит и Хлорит	○	○	○	●	●	●	○	○	○	○
Полевые шпаты	○	○	○	●	○	○				

● 1 ● 2 ○ 3 ○ 4

Фиг. 13. Количественные соотношения ведущих минералов полиметаллической стадии

Главные минералы: 1 — количественно преобладающие, 2 — количественно подчиненные, 3 — второстепенные, 4 — распространенная примесь

никовита, буланжерита, пираргирита, аргентита, прустита, стефанита, штрмейерита, полибазита, дискразита, алтаита, гессита, сульфовисмутиты и сульфоарсениты свинца, самородные серебро и золото, а также жильные минералы — кварц, карбонат, серицит, хлорит и полевые шпаты. Сфалерит в этой ассоциации представлен маложелезистой разновидью и, как правило, лишен эмульсионной вкрапленности халькопирита и пирротина, а выделения позднего халькопирита в отличие от халькопирита предыдущей стадии не содержат звездчатых включений сфалерита. За исключением галенита, все перечисленные рудные минералы устанавливаются лишь под микроскопом. Количество подобных примесей даже в рудах одного месторождения обычно изменяется в очень широких пределах.

Сульфоантимонитовая ассоциация связана с остаточной кристаллизацией растворов полиметаллической стадии и в целом мало характерна для большинства месторождений Кличкинского рудного района. Представлена она скоплениями буланжерита, джемсонита и позднего галенита, в ассоциации с которыми отмечаются незначительные количества бурнонита, блеклой руды, пираргирита, самородного серебра, касситерита и игольчатого арсениопирита. Рассматриваемая ассоциация проявлена локально

и в очень незначительных масштабах (верхние горизонты Савинского № 5 и Почекуевского месторождений).

Некоторый разрыв во времени формирования всех трех выделенных ассоциаций полиметаллической стадии представляется очевидным как по признакам независимого их размещения, часто с образованием самостоятельных рудных тел, так и по наблюдающимся текстурно-структурным соотношениям. Вместе с тем наблюдения в забоях показывают, что существенные тектонические движения на границе образования трех этих ассоциаций не проявлялись. В связи с этим переходы минеральных образований этих ассоциаций, как правило, постепенны, через промежуточные по составу разности.

Следует еще раз подчеркнуть, что совместно с сульфидами всех трех парагенетических ассоциаций широко проявлены жильные минералы: кварц, хлорит, серицит, карбонаты и полевые шпаты. Поскольку хлорит и серицит являются наиболее распространенными жильными составляющими и в то же время основными минералами-носителями галлия и таллия, рассмотрим их несколько более подробно.

Распространение жильных алюмосиликатов в пределах рудного контура месторождений (за исключением вкрапленных и прожилково-вкрапленных руд) весьма неравномерно. Наиболее крупные скопления серицита и хлорита приурочиваются к зальбандам рудных тел, тогда как в участках, сложенных массивными рудами, они встречаются главным образом в виде мелких неправильных выделений или прожилковообразных выполнений, а также в виде отдельных, листоватых табличек, заполнивших трещинки и интерстиции между рудными минералами. Нередко они встречаются в виде веерообразных и радиальнолучистых агрегатов, часто в ассоциации с кальцитом, образуя тонкие оторочки вокруг зерен и прожилков галенита и сфалерита. Возрастные соотношения жильных алюмосиликатов и сульфидов весьма сложны. Часто в пределах одного шлифа можно наблюдать замещение серицит-хлоритового агрегата сфалеритом, галенитом и буланжеритом, пересечение и коррозию сульфидных минералов жильными алюмосиликатами и тонкое взаимопрораствание (фиг. 14а, б, в). Кроме того, для крупных выделений сфалерита и галенита весьма характерно присутствие беспорядочно расположенных идиоморфных включений серицита и хлорита (фиг. 14г, д, е). Причем в этом случае включения серицита и хлорита нельзя рассматривать как реликтовые формы, так как они обладают идиоморфизмом достаточно совершенной степени при отсутствии определенной ориентировки их агрегатов, однако, отсутствие каких-либо секущих взаимоотношений не дает право рассматривать их как более поздние образования.

Перечисленные факты, а также тесное совместное нахождение несомненно свидетельствуют о близкой во времени кристаллиза-

ции значительных количеств жильных алюмосиликатов и сульфидных минералов в полиметаллическую стадию (это же относится и к минералам колчеданной стадии).

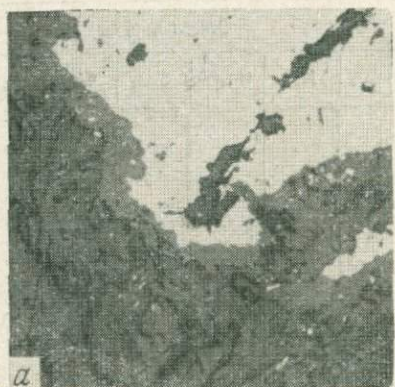
Наиболее обогащены жильными алюмосиликатами руды месторождений центральной части района, бóльшая часть которых располагается или непосредственно в гранитоидах (Каменское, Файтеловское и др.), или приурочены к небольшим по размерам ксенолитам интенсивно метаморфизованных карбонатных пород, окруженных со всех сторон гранитами (Мыльниковско-Хоркиринское и др.). В рудах месторождений Кличкинского и Чупинского рудных полей, залегающих в карбонатных и карбонатно-сланцевых толщах северо-западного крыла Кличкинско-Кадаинской антиклинали, алюмосиликаты имеют значительно меньшее распространение. Здесь основными жильными минералами являются кварц и карбонат.

Значительная обогащенность руд месторождений Кличкинского района глиноземом, щелочами и кремнеземом, а также наблюдаемая прямая зависимость этих компонентов в свинцово-цинковых рудах от состава вмещающих пород, находит в какой-то степени подтверждение и в имеющемся в нашем распоряжении аналитическом материале (табл. 32).

Говоря о влиянии литологического состава вмещающих пород на вещественный состав руд, необходимо учитывать также и интенсивность проявления в них ранних прерудных изменений. В ряде случаев именно эти изменения оказывают весьма существенное влияние на минеральный состав последующих рудных образований. Так, например, вмещающие месторождение Савинское № 5 кремнистые и известковисто-углистые сланцы и роговики в пределах рудовмещающей тектонической зоны превращены в богатые магнием и глиноземом аксинитизированные породы (грейзеновая стадия). Бóльшая часть рудных тел месторождения залегает именно в этих породах (особенно на нижних горизонтах)

Фиг. 14. Структурные взаимоотношения жильных алюмосиликатов и сульфидов (месторождение Савинское № 5)

a — замещение серицит-хлоритового агрегата (темное) галенитом (белое), в левом нижнем углу (рельефное) реликты аксинита, полированный шлиф, увел. 100; *b* — пересечение сфалерита (светло-серое) и пирита (белое рельефное) кварц-хлорит-серицитовым прожилком, полированный шлиф, увел. 150; *в* — сложное взаимопрорастание пирита (светло-серое) с хлоритом и серицитом (темно-серое), полированный шлиф, увел. 150; *г* — взаимоотношение серицита и хлорита (темные чешуйчатые агрегаты) со сфалеритом (светло-серое), полированный шлиф, увел. 150; *д* — идиоморфные включения серицита и хлорита (волокнистые и чешуйчатые агрегаты) в галените (белое), темно-серое — карбонат, темное рельефное — кварц, светло-серое — сфалерит, полированный шлиф, увел. 150; *e* — галенит (белое основное поле) в тесном сростании с серицитом (черное) и блеклой рудой (светло-серое), последняя находится в сростании со стanniном (более темное), полированный шлиф, увел. 750 с иммерсией



Содержание основных петрогенных компонентов в рудах и вмещающих породах некоторых свинцово-цинковых месторождений Кличкинского района

Месторождение	Характеристика пробы	Окислы, %					
		Al ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	SiO ₂	CaO	MgO
Савинское № 5	Технологическая проба руды, отобранная по горизонту 694 м (Гинццветмет)	5,5	—	—	33,24	6,19	2,33
	Средняя проба, отобранная из дубликатов проб по 23 скважинам (Прокoppenko, ИМГРЭ)	4,37	0,36	0,36	23,75	12,31	2,08
	Средняя проба руды по скв. 7 (Смирнов, 1934)	6,54	0,45	0,71	43,41	0,02	3,80
	Аксинитизированный сланец (Мейтув, ИМГРЭ)	11,30	0,10	0,13	47,55	15,10	1,32
	Кварцевые диориты (Архангельская, ИГЕМ)	17,08	2,82	2,84	58,3	3,73	1,74
Каменское	Технологическая проба руды (Иркутский горно-металлургический институт)	15,22	2,23	4,11	46,06	2,77	4,85
	Технологическая проба руды (Гинццветмет)	12,0	—	—	45,30	1,95	1,90
	Альбитизированные граниты (Архангельская, ИГЕМ)	21,35	1,69	7,54	65,25	0,7	0,23
	Роговообманковые граниты (Архангельская, ИГЕМ)	17,7	3,93	3,05	64,94	3,26	0,76
	Средняя групповая проба руды по рудному телу № 1 (Архангельская, ИГЕМ)	1,99	1,21	Не обн.	18,26	9,60	1,36
Почкуевское	Известковистые сланцы (Архангельская, ИГЕМ)	0,65	—	—	2,34	52,78	0,25
	Кремнистые сланцы (Мейтув, ИМГРЭ)	2,91	2,07	0,10	76,38	0,49	1,16

и характеризуется по сравнению с рудами Почекуевского месторождения, развитыми в менее оксинитизированных сланцах, присутствием повышенного количества жильных алюмосиликатов (хлорита и серицита). Другим примером могут служить руды Каменского месторождения, залегающие в богатых Na_2O и бедных K_2O альбитизированных породах (полевошпатовая стадия), которые отличаются от руд рудопроявлений (Северная Шахта и Файтеловское), приуроченных к менее измененным роговообманковым и биотит-роговообманковым гранитам, большим развитием хлорита и меньшим — серицита.

Тесная зависимость вещественного состава руд от литологического состава пород свидетельствует о том, что ряд компонентов и, в первую очередь таких, как глинозем, кремнезем и, возможно, щелочи в процессе рудообразования заимствованы из толщ пород, залежавших по пути движения растворов.

Полиметаллическая стадия несет наиболее обширный комплекс элементов-примесей. Сфалеритовые руды содержат кадмий и индий, т. е. элементы, проявляющие геохимическое сродство с цинком, а для более позднего свинцового парагенезиса наиболее характерно присутствие серебра, висмута, олова, сурьмы, селена и теллура. Элементы с двойственной геохимической природой — таллий и галлий — преимущественно концентрируются в жильных минералах, непосредственно сопровождающих процесс рудообразования — в сериците, хлорите, полевых шпатах и значительно реже отмечаются в сульфидах.

4. *Кварц-флюорит-карбонатная стадия* представляет заключительную фазу гидротермального процесса, выразившуюся в образовании многочисленных гнезд, жил и прожилков безрудного кварца и кальцита, рассекающих и цементирующих скопления сульфидных минералов (Савинское № 5, Кличкинское, Почекуевское, Каменское, Мыльниковско-Хоркиринское месторождения и др.). С кварцем и кальцитом часто ассоциируют крупные скопления флюорита. Довольно часто в составе пострудных образований наблюдаются полевые шпаты, цеолит и минералы группы каолинита. При этом количественные соотношения минералов этой стадии также находятся в прямой зависимости от химического состава вмещающих пород. Кварц, полевые шпаты, каолинит и цеолиты преобладают в рудах месторождений, залегающих в породах алюмосиликатного состава (гранитоидах, кремнисто-глинистых сланцах и др.); флюорит избирательно накапливается в породах, обогащенных кальцием (известняках, доломитах, известковистых сланцах и др.), где он в ряде случаев представляет промышленный интерес (Кличкинское, Савинское № 5, Почекуевское и др.).

Общая последовательность выделения ведущих минералов кварц-флюорит-карбонатной стадии такова: кварц, кварц — флюорит (основная масса флюорита), кальцит — флюорит, цеолиты и кальцит с примесью флюорита.

Пострудные минеральные образования, как правило, бедны редкометальными примесями, которые представлены лишь стронцием, а также таллием и галлием, содержащимися в незначительных количествах в жильных минералах.

Для большей наглядности гидротермального процесса приводим сводную таблицу, в которой показаны основные минеральные ассоциации, а также типоморфные элементы и элементы-примеси, привнесенные в те или иные стадии минералообразования (табл. 33).

Таблица 33

Ведущие минеральные ассоциации, типоморфные элементы и элементы-примеси различных стадий минералообразования, проявленных в месторождениях Кличкинского рудного района

Стадия минералообразования	Ведущие минеральные ассоциации	Основные типоморфные элементы	Характерные элементы-примеси
Полевошпатовая	Мангансидерит-альбит-калишпатовая	Калий и натрий	Таллий, ниобий, тантал, олово, бериллий
Грейзеновая	Кварц-мусковит-(топаз)-турмалиновая, кварц-турмалиновая, кварц-топазовая, кварц-мусковит-флюоритовая, слюдисто-флюоритовая, кварц-аксинитовая	Алюминий	Бериллий, литий, фтор, бор, тантал, ниобий, редкие земли, молибден, вольфрам, олово, галлий, индий
Колчеданная	Кварц-пирит-арсенопиритовая Пирит-халькопирит-пирротиновая	Железо, мышьяк, сера	Медь, никель, кобальт, селен, висмут, золотого
Полиметаллическая	Существенно сфалеритовая Существенно галенитовая Сульфантимонитовая	Цинк, свинец, сурьма, сера	Кадмий, индий, висмут, медь, серебро, золото, селен, теллур, олово, галлий, таллий
Кварц-флюорит-карбонатная	Кварц-флюоритовая Цеолит-кальцитовая	Кремний, кальций, фтор	Стронций

Проведенные исследования позволяют заключить, что проявленные на изученных месторождениях предрудные изменения (альбититизация, грейзенизация и др.), а также более поздние мышьяково-серноколчеданные, свинцово-цинковые минеральные ассоциации и заключительные кварц-карбонат-флюоритовые образования, представляют собой звенья единого процесса. Наряду с общегеологическими данными (образование всех этих минералов после внедрения самых молодых даек лампрофиров, их пространственная совмещенность и четкий контроль одними и теми же разрывными нарушениями) об этом также свидетельствует и

минералого-геохимическая преобладанность, которая выражается: 1) в наличии одних и тех же минералов в составе большинства парагенетических ассоциаций руд и околорудноизмененных пород (полевые шпаты, слюды, флюорит, турмалин, касситерит, пирит и т. д.) и 2) в том, что в принципиально различных по своему минеральному составу парагенетических ассоциациях устанавливаются типоморфные элементы, сопровождающие весь процесс минералообразования, — In, Ga, Tl, а также акцессорные — бор, фтор, олово, бериллий и др.

Анализ материалов по другим регионам, в которых свинцово-цинковые руды сопровождаются высокотемпературным изменением вмещающих пород полевошпатово-грейзенового типа, показывает, что во всех случаях подобная ассоциация является закономерной и связана со специфическими геолого-структурными условиями их формирования.

РУДООБРАЗУЮЩИЕ МИНЕРАЛЫ

Свинцово-цинковые месторождения Кличкинского района представляют собой интереснейшие в минералогическом отношении образования. К настоящему времени в первичных рудах района известно более восьмидесяти минералов. Автором установлено 18 новых минералов, среди которых 11 описываются для полиметаллических месторождений Восточного Забайкалья впервые — брейтгауптит, раммельсбергит, ульманит, тетрадимит, калаверит, стефанит, полибазит, штроемейерит, зелигманит, плеонаст, цинкениит. Полный список минералов с разделением их по степени распространенности приведен в табл. 34, в которую включены лишь минералы, непосредственно связанные с процессом рудообразования. Породообразующие минералы, а также минералы, возникшие в процессе контактового метаморфизма, в таблицу не включены.

При изучении минералов применялись главным образом микроскопические методы исследования с привлечением данных химических и спектральных анализов, а также использованием методов диагностического травления минералов, определения микротвердости и удельных весов.

Диагностика новых минералов, встречающихся в виде очень мелких выделений (сотые и тысячные доли миллиметра), заключалась в определении их оптических свойств, микрохимии, микротвердости, получении данных спектрального и рентгеноструктурного анализов. Для извлечения микропроб автором совместно с С. И. Лебедевой и Р. А. Александровой (1965) была разработана методика прочерчивания минералов с помощью алмазной пирамидки прибора ПМТ-3. Предложенная методика давала возможность извлекать материал для анализа из зерен минералов

Гипогенные минералы свинцово-цинковых месторождений
Кличкинского рудного района (в последовательности,
характеризующей количественное распространение и степени
развития)

Степень распростране- ния в рудах	Рудные	Нерудные
--------------------------------------	--------	----------

*Типичные минералы, встречающиеся
в подавляющем большинстве месторождений*

Главные	Пирит	Кварц
	Сфалерит	Хлорит
	Галенит	Серицит
Второстепенные	Халькопирит	Кальцит
		Доломит
		Сидерит
		Анкерит
		Флогопит
Примеси	Мусковит Турмалин Топаз Эпидот Ильменит Апатит Рутил Сфен Циркон Тетраэдрит Теннантит * Станнин Касситерит Борнит Валлерит Кубанит Магнетит Серебро самородное Аргентит Пираргирит	Мусковит
		Турмалин
		Топаз
		Эпидот
		Ильменит
		Апатит
		Рутил
		Сфен
		Циркон
		Тетраэдрит
		Теннантит *
		Станнин

*Среднераспространенные, встречающиеся
в ограниченном количестве месторождений*

Второстепенные, в единичных случаях главные	Пирротин	Флюорит
	Арсенопирит	Аксинит
	Марказит	Альбит
	Мельниковит	Микроклин
	Джемсонит	Адуляр
	Буланжерит	Актинолит
	Ганит	Тремолит
		Стеллерит
	Десмин	
	Каолинит	

Степень распространения в рудах	Рудные	Нерудные
Примеси (акцессорные минералы)	Золото самородное Электрум * Гематит Мушкетовит * Брейтгауптит ** Раммельсбергит ** Ульманит ** Бурнонит Висмутин * Висмут самородный Теллуровисмутит * Тетрадимит ** Шеелит (Гассит) Алтаит Калаверит ** Дискразит * Стефанит ** Полибазит ** Штрмейерит ** Прустит * Зелигманит ** Цинкенил * (Сульфовисмутиты сви- ца) (Фрейслебенит) (Семсейит)	Берилл Берtrandит Фенакит Эвклаз Бавенит Селлаит Барит Датолит Плеонаст **

* Минералы, установленные в рудах района впервые.

** Минералы, ранее не обнаруживающиеся в свинцово-цинковых месторождениях Приаруны. Минералы, отмечавшиеся другими исследователями и не встреченные автором, приведены в скобках.

с минимальным размером в 0,008—0,01 мм. Полученные мельчайшие крошки собирались резиновым клеем, тщательно растирались между предметными стеклами и в виде шарика передавались на рентгеноструктурный и спектральный анализ.

Все рентгеноструктурные анализы и их расшифровка выполнены Р. А. Александровой. Условия съемки: λ —Cu—Ni; камера РКД, $d = 57,3$ мм. Ввиду малых количеств анализируемого материала, на дебаеграмме проявляются, как правило, лишь 3—6 ос-

новых линий, которые, однако, в совокупности с другими данными (оптика, микрохимия, спектроскопия, микротвердость) позволяли довольно уверенно диагностировать минералы.

В процессе микроскопических исследований, особенно при определении трудно диагностируемых минералов, автору постоянно оказывал содействие и помощь проф. И. С. Вольтинский.

Ниже описываются все минералы, участвующие в строении первичных руд района. В целях более сжатого изложения основное внимание уделяется характеристике ведущих рудных и жильных минералов, что необходимо для установления закономерностей распространения редких элементов. Более подробно рассматриваются также минералы, впервые обнаруженные автором в составе исследуемых руд. Все прочие минералы описываются более кратко.

Гипергенные минералы автором не изучались и они здесь не характеризуются.

Описание минералов производится в порядке их количественного распространения, при этом сначала характеризуются рудные, а затем нерудные.

Рудные минералы

П и р и т — самый распространенный рудный минерал. Особенно велики его скопления в месторождениях, приуроченных к сланцевым толщам (Савинском № 5, Почекуевском и др.). В рудах этих месторождений пирит является основным ведущим минералом и по существу представляет тот основной фон, на котором развивается вся последующая сульфидная минерализация. В неменьшем количестве пирит развит и в рудах Каменского месторождения, рудопроявлений Северной Шахте и Файтеловском, где вмещающие граниты в пределах обширной площади подвергались интенсивной пиритизации. В месторождениях, расположенных в карбонатных породах (Мыльниковско-Хоркиринском, Кличкинском, Мелентьевском и др.), пирит, как правило, играет резко подчиненную роль.

Судя по присутствию пирита в различных минеральных ассоциациях, образование его происходило на протяжении нескольких стадий минерализации. При этом количество пирита и характер его выделений заметно менялся. Мы различаем три основные разновидности пирита.

Наиболее ранняя и количественно резко преобладающая разновидность пирита (пирит I) была отложена в самые начальные моменты кристаллизации рудного вещества, почти одновременно с арсенопиритом, пирротинном, халькопиритом, кварцем, серицитом и другими минералами колчеданной стадии.

Рассматриваемая разновидность пирита образует зернистые агрегаты неравномерного, от мелко- до грубозернистого строения.

либо наблюдается в виде скоплений хорошо образованных кристаллов, рассеянных во вмещающих породах. Вкрапленники пирита в породах представлены, обычно, хорошо ограненными кристаллами. Форма кристаллов кубическая и пентагондодокаэдрическая. Довольно часто встречаются октаэдры, а также комбинации куба и пентагондодокаэдра. Агрегаты зерен пирита имеют, как правило, пандиаморфнозернистую структуру. Размер зерен изменяется от тысячных долей до первых единиц миллиметра, преобладает от 0,5 до 1,5 мм. Зерна характеризуемого пирита I, как правило, сильно катаклазированы. Обломки сцементированы сфалеритом, галенитом, буланжеритом, кварцем, кальцитом и другими более поздними минералами. Они разъедают пирит, распространяясь в виде жилок по трещинкам и в промежутках между его зернами, образуя петельчатые, субграфические и прочие коррозионные структуры.

Вторая разновидность пирита (пирит II) образовалась в полиметаллическую стадию и получила незначительное распространение.

Формы выделений пирита II самые разнообразные: отдельные кристаллы кубического габитуса размером в десятые доли миллиметра, беспорядочно разбросанные в полях сфалерита и галенита, и агрегаты пластинчатой формы, являющиеся псевдоморфозами по ранее образованному пирротину, в которых пирит находится в тесном сростании с марказитом, мельниковитом и магнетитом.

Наиболее поздняя разновидность пирита (пирит III) представлена хорошо образованными кристаллами кубического, а иногда пентагондодокаэдрического облика, размером 0,5—1,5 см, присутствующими в послерудных кварц-кальцит-флюоритовых и цеолитовых прожилках. Как и пирит II, пирит третьей разновидности наблюдается в очень незначительном количестве.

Следует еще раз подчеркнуть, что перечисленные разновидности пирита являются наиболее характерными, но далеко не исчерпывают всего разнообразия проявлений этого минерала в исследуемых рудах.

Пириты первой разновидности из руд ряда месторождений (Савинского № 5, Почекуевского, Чупинского, Каменского, Кличкинского, Северной Шахты) были проанализированы для определения в них элементов-примесей. Частными химическими анализами в пиритах были установлены: селен (тысячные и десятитысячные доли процента) и теллур (следы и десятитысячные доли процента); определялись и не были обнаружены таллий, галлий и германий. Пробирными анализами (по данным С. А. Аксеновой и др.) в пиритах месторождений Савинского № 5 и Почекуевского зафиксированы следы золота. Спектральные анализы указывают на постоянное присутствие в пирите I никеля (сотые и тысячные доли процента), мышьяка (десятые и сотые доли процента), меди

(тысячные и десятитысячные доли процента), спорадически отмечаются кобальт, висмут, сурьма, олово, кадмий, цинк и свинец.

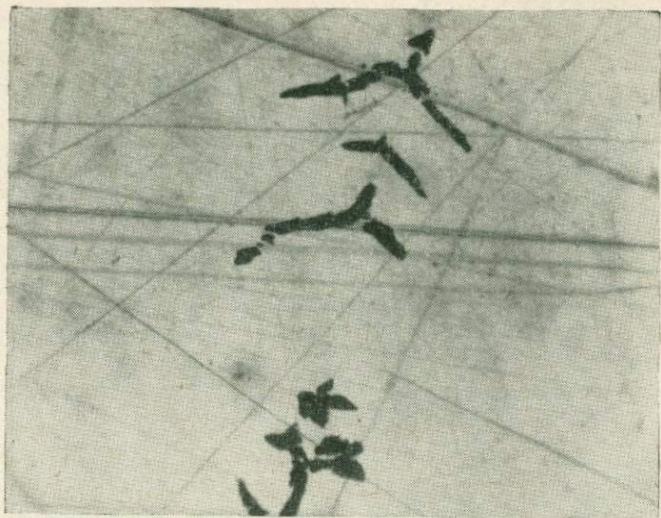
Сфалерит после пирита является одним из наиболее распространенных рудных минералов. В рудах месторождений, залегающих в сланцах (Савинском № 5, Почекуевском и др.) соотношение свинца к цинку примерно составляет 1:3—1:5; в месторождениях, приуроченных к гранитам (Каменском и др.) это соотношение несколько выравнивается 1:1—1:2 и, наконец, в рудах, заместивших карбонатные породы (Мыльниковско-Хоркиринском, Кличкинском месторождениях и др.), цинк в количественном отношении всегда резко уступает свинцу — 3:1—5:1.

В зависимости от времени образования удается выделить три разновидности сфалерита.

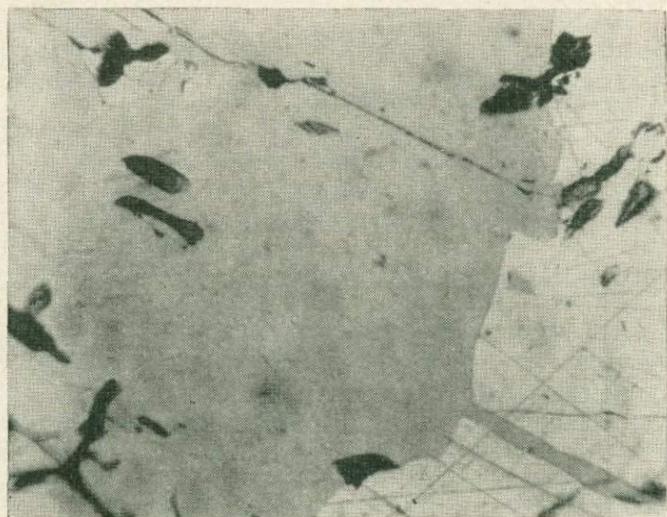
К первой, наиболее ранней разновидности сфалерита (сфалерит I), относится тонкая эмульсионная вкрапленность, звездочки, пунктирные нити и мелкие (сотые-десятые доли миллиметра) округлой формы выделения этого минерала, заключенные в виде продуктов распада твердого раствора в халькопирите, кристаллизовавшемся в колчеданную стадию (фиг. 15). В некоторых случаях звездочки сфалерита наблюдались также и в пирротине (фиг. 16). Не вызывает сомнений, что этот пирротин заместил халькопирит. Подобные случаи уже отмечались в литературе (Иванов, 1960; Рамдор, 1962). Со сфалеритом I постоянно ассоциируют: валлериит, кубанит, станнин, висмут самородный, висмутин (пирит-халькопирит-пирротининовая минеральная ассоциация). Характеризуемая разновидность отчетливо наблюдалась только в рудах месторождения Савинского № 5 и в количественном отношении представляет чисто минералогический интерес.

Вторая разновидность сфалерита (сфалерит II), представляющая основную массу цинковых руд в районе, была отложена в начальные моменты проявления полиметаллической стадии (существенно сфалеритовая минеральная ассоциация). Сфалерит II встречается в виде отдельных зерен, рассеянных во вмещающих породах, и агрегатов. Структура агрегатов аллотриоморфнозернистая, размер зерен, как правило, составляет сотые и десятые доли миллиметра. Агрегаты образуют гнезда, крупные и мелкие обособления среди нерудных минералов и скоплений других сульфидов (пирита, пирротина, арсенопирита).

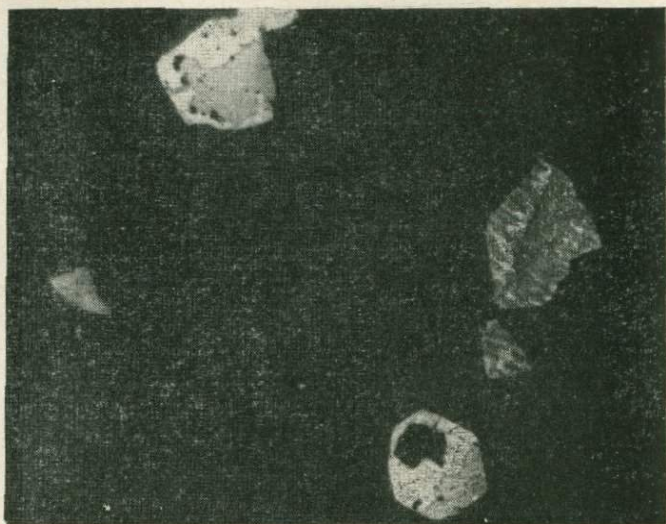
Окраска сфалерита II черная, бурая. Почти повсеместно сфалерит II несет эмульсионную вкрапленность пирротина, халькопирита и станнина, при этом количественные соотношения между этими минералами могут колебаться в широких пределах. Эмульсия пирротина преобладает в рудах месторождений Савинского № 5, Почекуевского и Чушинского, халькопирита — в Кличкинском, Каменском, Мыльниковско-Хоркиринском месторождениях и в рудопроявлении Северная Шахта. Эмульсия станнина, в количественном отношении резко уступающая пирротину и халькопи-



Фиг. 15. Звездчатые и дендритообразные выделения раннего сфалерита (черное) в халькопирите. Полированный шлиф, увел. 750 с иммерсией. Месторождение Савинское № 5



Фиг. 16. Замещение халькопирита (светло-серое) пиритом (серое), в котором сохраняются реликты халькопирита и звездочки сфалерита (черное). Полированный шлиф, увел. 500. Месторождение Савинское № 5



Фиг.17. Эмульсионные вкрапленники в сфалерите (черное основное поле) имеют сложный состав: халькопирит-валлериит, халькопирит-борнит. Полированный шлиф, увел. 1000 с иммерсией. Месторождение Савинское № 5

риту, относительно часто устанавливается в рудах Почекуевского, Савинского № 5, Чупинского и Каменского месторождений. В составе эмульсионных выделений очень часто наблюдаются собственные структуры распада твердых растворов: кубанит и халькопирит — в пирротине, халькопирит — в станине и пирротине, борнит и валлериит — в халькопирите (фиг. 17). Подобные явления постоянно отмечаются при больших увеличениях в шлифах руд Савинского № 5, Почекуевского, Чупинского, Каменского, Кличкинского, Мыльниковско-Хоркиринского месторождений и рудопроявления Северная Шахта и др.

Зерна и агрегаты сфалерита II пересекают и корродируют скопления ранее образованного пирита, пирротина и арсенопирита; с другой стороны, минералы последующих парагенетических ассоциаций (галенит, буланжерит, блеклая руда, халькопирит, кальцит и др.) пересекают и интенсивно замещают сфалерит.

Третья разновидность сфалерита (сфалерит III) образовалась в полиметаллическую стадию, близко во времени с галенитом и по количественному развитию в рудах резко уступает сфалериту II. Сфалерит III тесно ассоциирует с галенитом, блеклой рудой, халькопиритом и встречается в виде отдельных зерен, неправильных по форме маломощных скоплений и прожилков, секущих ранее отложенные агрегаты темноокрашенного сфалерита II. Значительно реже в галенитовых рудах отмечаются мелкие

пустоты, выполненные плохо образованными кристалликами бурого и светлоокрашенного сфалерита (Савинское № 5 и Мыльниковско-Хоркиринское месторождения). В отличие от ранних железистых сфалеритов, поздние цинковые обманки почти лишены эмульсионной вкрапленности халькопирита и совсем не содержат эмульсионных включений пирротина и станнина. Не исключено, что рассматриваемая разновидность сфалерита III, во всяком случае какая-то часть его выделений, образовалась путем перетложения вещества ранее выделившегося сфалерита.

Поскольку сфалериты первой разновидности встречаются только в виде эмульсионной вкрапленности, представилось возможным отобрать и проанализировать только сфалерит второй и третьей разновидности. Химическое и спектроскопическое изучение сфалерита II и III показало наличие в них довольно большого количества элементов-примесей; железа, кадмия, индия, марганца, галлия, серебра, олова, меди, селена, кобальта, никеля, мышьяка, сурьмы, свинца, висмута. Результаты анализов приведены в табл. 35 и 36.

Сфалериты второй разновидности, представляющие основную массу цинковых руд в районе, характеризуются высокими и крайне невыдержанными содержаниями железа (от 3 до 14%).

Обращает внимание выявляемая прямая зависимость наблюдаемого количества железа в сфалеритах от состава вмещающих пород. Так, сфалериты из руд месторождений Савинского № 5, Почекуевского и Чупинского, залегающих в сланцевых толщах, как правило, содержат максимально высокие концентрации железа (10—14%). Цинковые обманки из месторождений, залегающих в гранитоидах (Каменское, Северная Шахта), представлены менее железистыми разновидностями (7—9%). Наименьшее количество железа (3—4%) находится в сфалеритах из руд Мыльниковско-Хоркиринского, Кличкинского и Мелентьевского месторождений, рудные тела которых залегают в карбонатных породах.

Из других элементов в сфалеритах второй разновидности постоянно отмечаются: марганец, олово, серебро, индий, кадмий, галлий, медь, свинец, значительно реже — селен, кобальт, никель, мышьяк, сурьма, таллий. Концентрации всех перечисленных элементов, за исключением кадмия, как правило, редко превышают сотые и тысячные доли процента. Содержание кадмия в сфалерите II колеблется в пределах от 0,1 до 0,6%. При этом наиболее высокие его концентрации (0,3—0,6%) устанавливаются в цинковых обманках Мыльниковско-Хоркиринского, Мелентьевского, Кличкинского, Каменского месторождений.

Галлий в количестве 0,001—0,004% систематически устанавливается в цинковых обманках Почекуевского, Кличкинского, Чупинского и реже Савинского № 5 месторождений. В сфалеритах других месторождений его содержание редко превышает десятитысячные доли процента.

Сравнительная таблица состава и свойств сфалеритов
(существенно сфалер)

№ п/п	Месторождение	Место взятия пробы	Цвет	Уд. вес *	
				пределы колебаний	среднее значение
1	Савинское № 5	Групповая проба, составленная из 6 частных проб с горизонтов 694, 664 и 634 м	Черный до темно-бурого	3,94— 3,99	3,96
2	Почекуевское	Групповая проба, составленная из 3 частных проб с рудных отвалов шахт 1, 2, 3	Бурый до темно-бурого и черного	9,99— 4,03	4,01
3	Чупинское	Групповая проба, составленная из 2 частных проб из скв. 5 (интервал 66—75 м) и 2 (интервал 71—85 м)	Черный	3,97— 4,01	3,99
4	Каменское	Групповая проба, составленная из 4 частных проб с отвалов шахты 4 (2-ой горизонт)	Темно-бурый	4,01— 4,09	4,04
5	Северная Шахта	Отвалы шахты 1	Темно-бурый	3,99— 4,04	4,02
6	Кличкинское	Групповая проба, составленная из 2 частных проб с отвалов участка Савинское № 4 и скв. 158 (интервал 89—91 м)	Черный с коричневатым оттенком	4,05— 4,08	4,07
7	Мыльниково-Хоркиринское	Групповая проба, составленная из 5 частных проб с отвалов участков Западный Прокопьевский карьер, шахта 5, Ново-Ивабовская	Темно-серый до черного	4,02— 4,09	4,16
8	Мелентьевское	Групповая проба, составленная из 2 частных проб с отвалов участков I и II	Темно-коричневый и бурый	—	—

свинцово-цинковых месторождений Кличкинского рудного района
итовая ассоциация)

Микротвердость **, кг/мм ²	Размерность зерен ***	Структура распада твердого раствора	Примечание	
				пределы колебаний
161—183	171	Крупно- и среднезернистые	Широко проявлена эмульсионная вкрапленность пирротина, халькопирита и реже, станнина, в составе которой нередко наблюдаются собственные структуры распада твердых растворов: халькопирит и кубанит — в пирротине; борнит, валлериит, пирротин — в халькопирите; халькопирит — в станнине	Проба содержит механическую примесь галенита
161—165	163	Среднезернистые	То же	
165—194	180	Средне- и мелкозернистые	» »	То же
185—199	192	Среднезернистые	Проявлена эмульсия халькопирита, пирротина и реже станнина, в составе которой постоянно отмечаются собственные структуры распада твердых растворов: валлериит и борнит — в халькопирите, халькопирит — в пирротине и станнине	
178—201	191	Среднезернистые	То же	Проба содержит механическую примесь кварца и жильных алюмосиликатов
187—210	195	Крупнозернистые	Проявлена эмульсия халькопирита и реже пирротина, в составе которой часто можно наблюдать собственные структуры распада твердых растворов: халькопирит и борнит — в пирротине, борнит, валлериит и пирротин — в халькопирите	
194—210	199	Крупно- и среднезернистые	Редкая эмульсионная вкрапленность халькопирита и пирротина, в которых часто отмечаются структуры распада твердых растворов: борнит и валлериит в халькопирите, пирротин в халькопирите и халькопирит в пирротине	
192—210	200	Среднезернистые	То же	

Ком- понен- ты	Весовые проценты						
	1****	2	3	4	5	6	7
Zn	49,36	53,01	45,61	55,67	53,28	58,13	65,71
Fe	14,87	12,02	7,46	9,94	8,21	5,49	2,49
S	33,66	33,23	32,90	33,13	31,29	32,14	31,76
In	0,0045	0,008	0,024	0,613	—	0,0045	0,0022
Ga	0,00013	0,0030	0,0004	0,0005	—	0,0018	0,0001
Mn	0,145	0,27	0,217	0,078	0,05	0,0014	Следы
Bi	0,0043	0,0013	—	Не обн.	—	Не обн.	0,0008
Ag	0,018	0,022	0,028	0,30	0,01	0,007	0,0071
Sn	0,202	—	0,3	0,21	—	0,208	0,113
Pb	1,19	0,08	10,0	Не обн.	0,80	0,77	Не обн.
Cu	0,43	0,15	Не обн.	»	0,90	0,75	»
H. o.	0,60	1,17	3,45	—	SiO ₂ — 2,32 MgO — 0,12 Al ₂ O ₃ — 0,59	2,3	—
Σ	100,48	96,96	99,99	99,67	97,85	99,80	100,083
Анали- тик	К. Г. Иса- ева, ИМГРЭ	Н. З. Кур- банова, ИМГРЭ	К. Г. Иса- ева, ИМГРЭ	К. Г. Иса- ева, ИМГРЭ	Ю. С. Несте- рова, ИГЕМ	К. Г. Исаева, ИМГРЭ	

* Измерение удельных весов выполнены Г. Г. Прохоровой методом гидростатиче

** Замеры микротвердости проведены С. И. Лебедевой на микротвердомере

*** Мелкозернистый — размер зерен сотые доли миллиметра, среднезернистый —

**** Здесь и далее цифрами обозначены месторождения в порядке последовательности,

Олово и индий, в относительно повышенных количествах (со-
тые — десятые доли процента), встречаются лишь в сфалеритах
из руд Каменского, Почекуевского и Чупинского месторождений.

Для сфалеритов третьей разновидности весьма характерны по-
ниженные концентрации железа (от 1,5 до 4%), марганца
(0,01%), олова (0,001—0,002%) и относительно повышенные
количества кадмия (0,3—0,8%).

Ни в одном из проанализированных образцов сфалерита (сфа-
лерите II и III) химическими анализами не были обнаружены
таллий и германий.

Для сфалеритов второй разновидности были проделаны опреде-
ления удельных весов и микротвердости (табл. 35). Как видно из
табл. 35, а также на фиг. 18, 19, удельный вес цинковых обманок
и их микротвердость находятся в обратной зависимости от количе-
ства, содержащегося в них железа. Подобные случаи уже отмеча-
лись в литературе (Ясинская, 1960; Лебедева, 1963, и др.) и объ-
ясняются изменением структуры кристаллической решетки сфа-

Таблица 35 (окончание)

Атомные количества

8	1	2	3	4	5	6	7	8
61,88	7550,0	8107,0	6976,0	8515,0	8134,0	8891,0	10050,0	9464,0
4,63	2665,0	2154,0	1336,0	1781,0	1470,0	984,0	446,0	829,7
31,72	10486,0	10352,0	10249,0	10320,0	9750,0	10012,0	9894,0	9881,0
0,0018	0,4	0,7	2,1	53,0	—	0,4	0,2	0,15
0,0007	0,02	0,4	0,05	0,07	—	0,2	0,02	0,1
0,086	26,0	49,0	39,0	14,0	—	0,2	—	16,6
0,0118	0,2	0,06	—	—	—	—	0,03	0,6
He обл.	1,6	1,8	2,6	28,0	0,9	0,6	0,6	—
0,084	16,9	—	25,2	17,7	—	17,0	9,4	7,0
0,37	57,0	3,9	483,0	—	38	37,0	—	18,0
0,17	68,0	23,0	—	—	140	118,0	—	27,0
0,69	—	—	—	—	—	—	—	—
99,64								

ского взвешивания.

ПМТ-3 с нагрузкой в 50 г.

десятые доли до 1—2 мм; крупнозернистый — от 3—5 мм и выше.

указанной в начале табл. 35.

дерита в связи с вхождением в нее различного количества FeS.

Галенит — широко распространенный минерал. В качестве главного минерала рудного агрегата встречается лишь в месторождениях, залегающих в карбонатных породах; во всех остальных случаях, как правило, количественно резко подчинен сульфидам железа и сфалериту.

Основная масса галенита была отложена в полиметаллическую стадию. Форма выделения галенита весьма разнообразна. В Савинском № 5 и Почкуевском месторождениях, на фоне преобладающего количества пирита, пирротина, арсенопирита и сфалерита, галенит в ассоциации с блеклой рудой, буланжеритом, кварцем, хлоритом, карбонатом и другими минералами, слагает жилкообразные тела, гнезда и неправильной формы обособления; тонкими волосными прожилками проникает он по трещинкам в боковые породы, образуя в них рассеянную вкрапленность. В Каменском месторождении и рудопроявлении Северная Шахта галенит наблюдается в виде ветвящихся прожилков, гнезд и просечек.

Содержание основных компонентов и элементов-примесей в сфалеритах

№ п/п	Месторождение	Минеральная ассоциация	Химический анализ		
			Zn	Fe	Cd
1	Савинское № 5	Существенно сфалеритовая	43,25—50,28 3*	12,74—14,32 3	0,12—0,16 9
2	Почкуевское	То же	51,68 1	11,78 1	0,1—0,2 8
3	Чупинское	» »	52,03 1	11,0 1	0,13—0,19 5
4	Каменское	» »	54,04 1	8,91 1	0,3—0,6 5
5	Файтеловское	» »	—	—	0,34 1
6	Северная Шахта	» »	—	6,78 1	0,24—0,31 3
7	Кличкинское	» »	60,44 1	4,0 1	0,42—0,44 8
8	Мыльниковско-Хоркиринское	» »	58,86 1	3,15 1	0,3—0,45 6
9	Мелентьевское	» »	61,00 1	3,94 1	0,38—0,44 5
10	Савинское № 5	Существенно галенитовая	58,05 1	4,10 1	0,28—0,54 2
11	Мыльниковско-Хоркиринское	То же	63,06 1	1,69 1	0,51—0,53 2
12	Мелентьевское	» »	63,30 1	2,01 1	0,57—0,79 5

* В знаменателе — количество проб.

свинцово-цинковых месторождений Кличкинского рудного района

Химический анализ					
In	Se	Te	Ga	Ge	Tl
0,003—0,016 9	0,0012 1	Сл. 1	Не обн.—0,001 7	Не обн. 3	Не обн.—0,0007 2
0,006—0,015 8	0,0006 1	Сл. 1	0,0025—0,0044 2	Не обн. 1	Не обн.—0,0002 2
0,024—0,031 5	—	—	0,001—0,004 3	Не обн. 1	—
0,05—0,33 7	Не обн. 1	Не обн. 1	Не обн. 2	Не обн. 2	Не обн. 1
0,0036 1	—	—	—	—	—
0,006 1	—	—	Не обн. 1	—	—
0,0005—0,006 5	0,0003 1	Сл. 1	0,001 1	Не обн. 1	Не обн. 1
0,004—0,006 2	—	—	Не обн. 5	Не обн. 1	Не обн. 1
0,005 1	—	—	0,001 1	—	—
0,002 2	—	—	—	Не обн. 1	Не обн. 1
0,002 5	—	—	Не обн. 1	Не обн. 1	—
0,002 1	—	—	Не обн. 1	—	—

Таблица 36 (продолжение)

№ п/п	Количество проб	Полуколичественный спектральный анализ, %							
		Ag	Sn	In	Cu	Co	Ni	As	Sb
1	56	0,0005—0,005	0,001—0,005	0,001—0,005	0,02—0,03	0,01—0,05	0,005	Не обн.	Не обн.
2	11	0,0005—0,005	0,001—0,01	0,001—0,01	0,01—0,07	Не обн.	Не обн.	0,03—0,07	0,03—0,07
3	14	0,01—0,02	0,03—0,07	0,001—0,07	0,03—0,07	»	»	0,08—0,35	0,08—0,35
4	15	0,02	0,005—0,05	0,005—0,1	0,02—0,03	»	0,005—0,2	Не обн.	0,01—0,05

Полуколичественный спектральный анализ, %								
Cd	Pb	Bi	Mn	Ga	Si	Al	Mg	Ca
0,05—0,2	0,001—0,01	0,0005—0,005	0,09	Не обн.	Не обн.	0,0005—0,01	Не обн.	Не обн.
0,05—0,2	0,001—0,005	Не обн.	0,11	0,001—0,005	0,005	Не обн.	Не обн.	0,0005
0,2	0,001	0,0005	0,09	0,001—0,005	Не обн.	»	0,0005—0,001	Не обн.
0,2—0,35	0,001—0,005	0,0005—0,005	0,08	Не обн.	0,005—0,05	0,005—0,03	0,001	Не обн.

№ п/п	Количество проб	Полуколичественный спектральный анализ, %							
		Ag	Sn	In	Cu	Co	Ni	As	Sb
5	7	0,01— 0,02	0,001— 0,005	0,001— 0,005	0,02— 0,08	Не обн.	Не обн.	Не обн.	0,01— 0,02
6	12	0,0005— 0,005	0,001— 0,005	0,001— 0,005	0,005— 0,07	0,01— 0,1	»	»	0,01— 0,02
7	17	0,0005— 0,03	0,001— 0,02	0,001— 0,01	0,05— 0,5	Не обн.	0,005	»	Не обн.
8	14	0,001— 0,005	0,005— 0,02	0,001— 0,005	0,02— 0,035	0,05— 0,2	0,005	»	0,01— 0,05
9	5	0,0005— 0,005	0,001— 0,005	0,001— 0,005	0,005— 0,02	Не обн.	Не обн.	»	Не обн.
10	5	0,0005— 0,005	0,002	0,001	0,02	0,01— 0,05	»	»	»
11	14	0,001— 0,005	0,002	0,001	Не обн. 0,02	0,05— 0,2	» 0,005	»	0,01— 0,05
12	5	0,0005— 0,005	0,001	0,001	0,02	Не обн.	Не обн.	»	Не обн.

В прожилковых рудах галенит встречается совместно с кварцем, карбонатом, серицитом, хлоритом и полевыми шпатами, располагаясь преимущественно в центральных частях прожилков. В рудах Мыльниково-Хоркиринского и Кличкинского месторождений галенит образует крупные почти мономинерального состава агрегативные скопления, развитые в зальбандах кварцевых жил.

Подобно сфалериту галенит сечет, цементирует и корродирует ранее отложенные пирит, арсенопирит и пирротин. Местами процесс замещения протекал настолько интенсивно, что сульфиды железа сохранились среди агрегатов галенита лишь в виде мелких обособленных реликтов. По отношению к основной массе сфалерита (сфалерит II) галенит также является более поздним минералом. Образую заливцы, ветвящиеся тончайшие прожилки, галенит глубоко проникает в поля сфалерита.

Для галенита типично постоянное совместное нахождение с блеклой рудой, малокалестым поздним сфалеритом III, халькопиритом, буланжеритом и джемсонитом. Очень отчетливо выступает связь с самородным серебром, самородным золотом, дискразитом, пираргиритом, аргентитом, пруститом, полибазитом, штромейеритом, алтаитом, гесситом и сульфовисмутитами свинца. При этом количество этих минералов в галените даже в пределах одного участка месторождения изменяется в очень широких пределах. Из нерудных минералов галенит особенно тесно связан с кварцем, карбонатом, хлоритом, серицитом и полевыми шпатами.

Время кристаллизации буланжерита, джемсонита и ассоцииру-

Полуколичественный спектральный анализ, %

Cd	Pb	Bi	Mn	Ga	Si	Al	Mg	Ca
0,2— 0,35	0,005— 0,5	Не обн. 0,001	0,08	Не обн.	0,005— 0,05	0,005— 0,05	Не обн.	Не обн.
0,05— 0,2	0,001— 0,5	0,0005	0,03— 0,1	»	0,005	0,005— 0,03	»	»
0,25— 0,5	0,001— 0,01	Не обн. 0,0005	0,01 0,07	0,001	Не обн. 0,005	0,0005	0,001	»
0,2— 0,35	0,001— 0,01	0,001— (редко)	0,04	Не обн.	Не обн. 0,05	Не обн. 0,05	0,001— 0,005	» 0,001
0,35	0,001— 0,03	Не обн.	0,01— 0,1	»	Не обн. 0,005	Не обн. 0,0005	Не обн.	Не обн.
0,2— 0,35	0,001	»	0,08	»	0,005	Не обн.	0,001	»
0,35— 0,5	Не обн.	Не обн.	0,02	»	Не обн. 0,001	»	Не обн.	0,001
0,35	0,01— 0,07	»	0,01— 0,05	»	0,005	0,005 0,005	»	Не обн.

ющих с ними игольчатого арсенопирита, бурнонита, касситерита, кварца и других минералов сульфоантимонитовой ассоциации было, очевидно, несколько длительнее отложения основной массы галенита, чем и объясняется некоторая коррозия его выделений этими минералами. Более позднее время выделения относительно галенита отмечается также для кварца, кальцита и флюорита.

Галениты Кличкинского района характеризуются присутствием большого числа элементов-примесей (табл. 37, 38). Наиболее характерными среди них являются: серебро, висмут, сурьма, кадмий, олово, таллий, селен, теллур, мышьяк, медь и золото. Серебро, висмут, олово, медь, сурьма, мышьяк установлены в галенитах всех месторождений района в количествах, нередко достигающих десятые доли процента. Присутствие большинства этих элементов в значительной мере обусловлено тонкодисперсной вкрапленностью собственных минералов, обычно наблюдаемых при больших увеличениях.

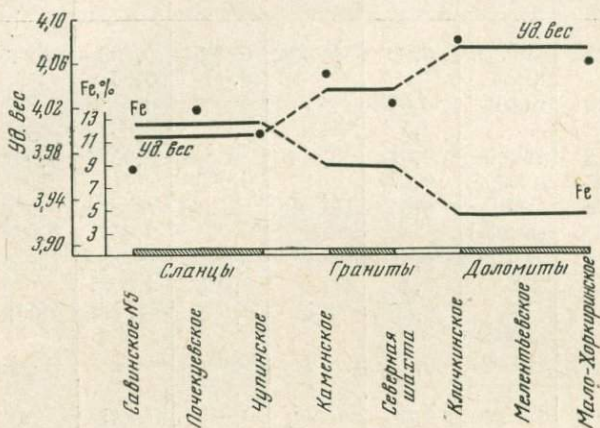
Селен и теллур постоянно отмечают в пробах галенита Савинского № 5, Почекуевского и Кличкинского месторождений (тысячные и десятитысячные доли процента).

Кадмий присутствует в пробах галенита всех изученных месторождений в количестве 0,002—0,003%.

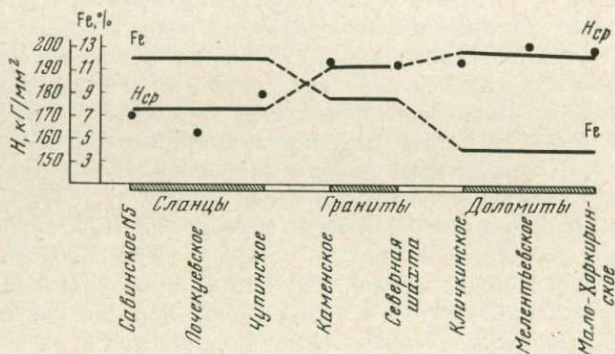
Таллий, в количествах превышающих его кларковые содержания, встречается лишь в галенитах Савинского № 5, Кличкинского, Почекуевского и Чупинского месторождений (0,001—0,006%). В рудах других месторождений его концентрация в галените, как

правило, выходит за пределы чувствительности химического и количественного спектрального анализа (0,0001%).

Индий, в количестве от тысячных до сотых долей процента, установлен лишь в относительно обогащенных оловом галенитах



Фиг. 18. Зависимость удельного веса сфалерита от содержания в нем железа



Фиг. 19. Зависимость твердости сфалерита от содержания в нем железа

Каменского, Чупинского и Почкуевского месторождений (по данным спектрального анализа).

Золото отмечено в единичных пробах галенитов Савинского № 5, Почкуевского и Мыльниковско-Хоркиринского месторождений. Содержание его в этом минерале, по данным С. А. Аксеновой и др., не превышает десятитысячных долей процента.

Ни в одном из проанализированных образцов галенита не были обнаружены (чувствительность открытия 0,0001%) галлий и германий.

Буланжерит и джемсонит встречаются в рудах большинства месторождений района, но лишь как третьестепенная примесь, и определяются только под микроскопом. Микроскопически видимые скопления буланжерита и джемсонита наблюдаются лишь в рудах Почекуевского и Савинского № 5 месторождений. Здесь названные минералы присутствуют в виде гнезд и прожилков, мощностью в несколько сантиметров, которые секут и интенсивно замещают сульфиды и жильные минералы более ранних парагенезисов. В ассоциации с буланжеритом обычно развиты в небольшом количестве галенит, блеклая руда, халькопирит, игольчатый арсенопирит, касситерит, станнин, кварц, кальцит, иногда серицит и хлорит. Кроме того, в рудах месторождения Савинского № 5 в сростании с джемсонитом и буланжеритом отмечался пирротин, бурнонит, самородное серебро и пираргирит.

Диагностика буланжерита и джемсонита Савинского № 5 и Почекуевского месторождений, кроме учета оптических констант, подтверждена результатами химического анализа (табл. 39), замерами микротвердости (табл. 40), а также рентгенометрическими данными. Химическими анализами в буланжерите Почекуевского месторождения, а также в буланжерите и джемсоните месторождения Савинского № 5 установлены значительные примеси серебра, олова и висмута (сотые доли процента) и тысячные доли процента галлия. В джемсоните из месторождения Савинского № 5, анализируемого на содержание кадмия, селена, теллура и индия, были обнаружены только два первых элемента. В буланжерите Почекуевского месторождения установлен индий (0,001%), селен (0,001%) и следы теллура.

Халькопирит встречается повсеместно, но в небольшом количестве. Бедность исследуемых руд халькопиритом находит свое подтверждение и в обычно низких содержаниях меди, количество которой в рудах редко достигает десятых долей процента¹. При исследовании под микроскопом отчетливо устанавливаются три разновидности халькопирита.

Первая, наиболее ранняя разновидность халькопирита (халькопирит I), представленная очень ограниченно, отчетливо наблюдается только в рудах Савинского № 5, Почекуевского, Чупинского и Кличкинского месторождений. Халькопирит I встречается в виде небольших обособлений, гнезд и отдельных зерен, расположенных среди скоплений пирротина и пирита, образовавшихся в колчеданную стадию. Для халькопирита этой разновидности весьма характерны своеобразные «звездчатые» включения сфалерита и тесная ассоциация с висмутом самородным, висмутином, тетрадимитом, теллуrowисмутитом, валлериитом, кубанитом и борнитом (см. фиг. 15, 16).

¹ Надо иметь в виду, что часть этого содержания меди приходится на долю блеклой руды, почти постоянно присутствующей в рудах.

Сравнительная таблица состава и свойств галенита свинцово-цинковых месторождений Кличкинского рудного района (существенно галенитовая ассоциация)

№ п/п	Месторождение	Место взятия пробы	Уд. вес	Микротвердость **, кг/мм		Размерность зерен	Минералы, которые постоянно содержатся в выделенных галенита в виде мельчайших включений
				предеты колебаний	среднее значение		
1	Савинское № 5	Групповая проба, составленная из 6 частных проб с горизонтов 694, 664 и 634 м	7,6*	75—84	78	Крупно- и среднезернистые	Халькопирит, пирротин, блеклая руда, станнин, буланжерит, джемсонит, самородное серебро, пираргирит и аргентит
2	Кличкинское	Групповая проба, составленная из 3 частных проб с отвалов участка Савинское № 4	7,6	60—74	67	Крупнозернистые	Халькопирит, пирротин, блеклая руда, станнин, буланжерит, аргентит, пираргирит и самородное серебро
3	Каменское	Групповая проба, составленная из 4 частных проб с отвалов шахты 4 (2-ой горизонт)	7,3	71—80	76	Крупно- и среднезернистые	Халькопирит, блеклая руда, станнин, аргентит, пираргирит, буланжерит, самородное серебро, и, редко, прустит, пирит и марказит
4	Мыльниковско-Хоркиринское	Групповая проба, составленная из 6 частных проб с отвалов участков: Западный Прокопьевский карьер, шахта 5 и Ново-Ивановская	7,6	68—77	72	Крупнозернистые	Халькопирит, блеклая руда, стефанит, полибазит, штрмейерит, самородное серебро, пираргирит, буланжерит, электрум
5	Савинское	Групповая проба, составленная из 3 частных проб с отвалов Главного карьера	6,5	—	—	»	Халькопирит, пираргирит, аргентит, самородное серебро
6	Северная Шахта	Групповая проба, составленная из 3 частных проб с отвалов шахты 1	7,6	—	—	Среднезернистые	Халькопирит, буланжерит, блеклая руда, самородное серебро, магнетит

Таблица 37 (окончание)

Компоненты	Весовые проценты						Атомные количества					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
Pb	85,68	84,72	84,3	84,63	84,19	86,36	4139,0	4088,0	4089,0	4084,0	4063,0	4172,0
S	13,03	13,19	13,17	12,98	13,13	13,30	4059,0	4109,0	4103,0	4043,0	4090,0	4143,0
Cu	0,006	0,0076	сл.	0,006	0,006	—	0,9	1,1	—	0,9	0,9	—
Zn	Не обн.	0,23	0,67	Не обн.	Не обн.	—	—	35,0	102,0	—	—	—
Fe	0,32	0,03	0,48	0,41	0,3	—	57,0	5,0	86,0	73,0	53,0	—
As	0,17	0,099	0,086	0,10	0,11	—	22,6	13,0	11,0	13,0	14,0	—
Sb	0,193	0,004	0,004	0,036	0,73	0,09	16,0	0,3	0,3	3,0	5,9	7,0
Sn	0,012	0,018	0,019	Не обн.	Не обн.	—	1,0	1,5	2,0	—	—	—
Cd	0,002	0,003	0,003	0,007	0,003	—	0,1	0,2	0,2	0,6	0,2	—
Bi	0,0076	0,024	0,0096	0,048	0,048	Тысячные доли	0,3	1,1	4,0	2,0	2,0	—
Ag	0,11	0,17	0,023	0,059	0,147	0,04	10,1	15,0	2,1	5,0	13,6	4,2
Tl	0,002	0,0048	0,0003	Не обн.	0,0002	—	0,09	0,18	—	—	—	—
Se	0,0016	0,0003	Не обн.	»	Не обн.	—	0,2	—	—	—	—	—
Te	0,0003	0,0024	»	»	»	—	—	0,1	—	—	—	—
H. o.	0,70	0,96	0,67	1,26	1,20	—	—	—	—	—	—	—
Σ	100,23	99,46	99,84	99,53	99,86	99,79	—	—	—	—	—	—
Анализ	А. З. Курбанова, А. А. Угарова, ИМГРЭ	Г. В. Любомилова, А. А. Угарова, К. Г. Исаева, ИМГРЭ	Г. В. Любомилова, К. Г. Исаева, ИМГРЭ	К. П. Арапова, Ю. С. Нестерова, ИГЕМ								

* Удельный вес определен Г. Г. Прохоровой методом гидростатического взвешивания.

** Замеры твердости выполнены С. И. Лебедевой на микротвердометре ПМТ-3 при нагрузке в 20 г.

**Содержание элементов-примесей в галенитах свинцово-
(существенно галени**

№ п/п	Месторождения	Химический анализ		
		Se	Te	In
1	Савинское № 5	$\frac{0,0012-0,0032}{5^{**}}$	$\frac{0,0004-0,0016}{5}$	$\frac{0,0002}{1}$
2	Почкуевское	$\frac{0,0064}{1}$	$\frac{0,0019}{1}$	$\frac{\text{Не обн.}-0,0001}{2}$
3	Кличкинское	$\frac{0,004}{1}$	$\frac{0,0008}{1}$	$\frac{\text{Не обн.}-0,0004}{2}$
4	Чупинское	—	—	$\frac{0,001-0,002}{3}$
5	Каменское	$\frac{\text{Не обн.}-\text{сл.}}{2}$	$\frac{\text{Не обн.}}{2}$	$\frac{0,0003-0,00034}{3}$
6	Файтеловское	—	—	—
7	Северная Шахта . .	—	—	$\frac{\text{Не обн.}}{3}$
8	Мыльниковско-Хоркиринское	$\frac{\text{Не обн.}}{2}$	$\frac{\text{Не обн.}}{2}$	$\frac{\text{Не обн.}}{1}$
9	Мелентьевское	—	—	—
10	Савинское	—	—	—

№ п/п	Количество проб	Полуколичественный спектральный анализ, %						
		Tl	Ag	Bi	Sb	As	Cd	In
1	31	0,001	0,05—0,9	0,005—0,05	0,1—0,2	Не обн.	0,005	Не обн.
2	8	0,001—0,005	0,01—0,07	0,01—0,02	Не обн.—0,1	»	0,005	Не обн.—0,001
3	16	0,001—0,005	0,5—1,0 и выше	0,03—0,07	0,08—0,35	Не обн.—0,01	0,005	Не обн.
4	8	0,001—0,005	0,01—0,02	0,0005	0,03—0,07	0,08—0,35	0,001—0,005	0,001—0,005

* Результаты пробирного анализа заимствованы из отчета С. А. Аксеновой
 ** В знаменателе — количество проб.

цинковых месторождений Кличкинского рудного района (в %)
 товая ассоциация)

Химический анализ	Количественный спектральный анализ				Пробирный анализ Au *
	Tl	Ag	Bi	Sb	
0,0007—0,002	0,003—0,2	0,007—0,06	0,1—0,3	0,002—0,003	Следы — не обн.
12	5	11	11	11	3
0,002—0,004	0,01—0,1	0,01—0,02	0,1—0,3	0,003	0,00044
7	5	5	5	5	1
0,001—0,002	0,1—0,6	0,006—0,02	0,02—0,3	0,001—0,002	Не обн.
11	3	5	5	5	2
0,004—0,005	—	—	—	—	—
2					
0,0002—0,0005	0,03—0,06	0,004—0,007	0,05—0,1	0,002—0,007	—
7	3	7	7	7	—
Не обн.—0,0002	0,01	0,006	0,1	0,002	—
4	1	1	1	1	—
Не обн.	0,01—0,05	0,001—0,01	0,01—0,3	0,002—0,003	—
7	3	3	3	3	—
Не обн.	0,04—0,06	0,02—0,03	0,01—0,03	0,002—0,003	Сл.
5	7	7	7	7	3
0,0005	0,05—0,1	0,001	0,03—0,3	0,003	—
1	2	2	2	2	—
0,0005	0,14	0,0002—0,008	0,1—0,4	0,003	—
3	7	3	3	2	—

Таблица 38 (продолжение)

Полуколичественный спектральный анализ. %

Sn	Cu	Zn	Fe	Si	Al	Ca	Mg
0,005—0,03	0,005—0,035	Не обн.—0,05	0,01—0,05	Не обн.—0,01	0,0005—0,005	Не обн.—0,001	Не обн.—0,0005
0,01—0,07	0,005—0,02	0,005—0,05	Не обн.—0,01	0,005—0,01	Не обн.	Не обн.—0,0005	Не обн.
0,05—0,07	0,03—0,075	0,005—0,05	Не обн.	Не обн.—0,01	Не обн.—0,0005	0,0005—0,001	Не обн.—0,001
0,03—0,07	0,005	0,5	0,01	Не обн.—0,005	Не обн.	Не обн.	Не обн.

И др. (1961).

№ п/п	Количество проб	Полуколичественный спектральный анализ, %						
		Tl	Ag	Bi	Sb	As	Cd	In
5	14	He обн.	0,05— 0,65	0,02— 0,035	0,1—0,2	He обн.	0,01	0,001— 0,01
6	10	»	0,005— 0,07	0,001— 0,005	He обн.	»	0,005	He обн.
7	14	»	0,0050— 0,07	0,001— 0,01	0,01—0,3	»	0,005	»
8	11	»	0,035— 0,05	0,0005— 0,001	0,05—0,1	»	0,005—	»
9	10	»	0,05—1,0	0,0005— 0,001	0,03— 0,35	»	0,005— 0,01	»
10	10	»	0,03— 0,07	He обн.	0,08— 0,23	»	0,005	»

Ко второй разновидности (халькопирит II) относится эмульсионная вкрапленность, просечки, прожилки и гнезда халькопирита, связанные с темноокрашенными железистыми разностями сфалерита II, кристаллизовавшихся в полиметаллическую стадию. Эта разновидность халькопирита наиболее распространена в изученных рудах. В сростании с халькопиритом II часто отмечаются пирротин, валлериит, борнит (см. фиг. 17).

Халькопирит третьей разновидности — постоянная составляющая поздних парагенетических ассоциаций полиметаллических руд Савинского № 5, Почокуевского, Кличкинского и Мыльниковско-Хоркиринского месторождений.

Халькопирит III тесно связан с полями развития галенита и буланжерита, где он в виде изометричных и неправильной формы выделений и тонких волосных прожилков тесно ассоциирует с блеклой рудой, золотом, серебром, аргентитом, пираргиритом, стефанитом, а также нерудными минералами: кварцем, карбонатом, хлоритом.

Выделение мономинеральных фракций халькопирита представляло очень сложную задачу. Удалось выделить и проанализировать халькопирит первой разновидности месторождения Савинского № 5 и халькопирит третьей разновидности из руд Мыльниковско-Хоркиринского месторождения.

В обеих разновидностях халькопирита постоянно присутствуют: олово, индий, висмут и кадмий. Однако содержание трех первых элементов в халькопирите I на порядок выше (сотые и тысячные доли процента), чем в халькопирите III (тысячные и десятитысячные доли процента). Кроме того, в халькопирите III спорадически отмечается присутствие ничтожных количеств селена, теллура, серебра, свинца и мышьяка. Ни в одном из проана-

Полуколичественный спектральный анализ, %

Sn	Cu	Zn	Fe	Si	Al	Ca	Mg
0,01— 0,03	0,001— 0,02	Не обн.— 0,5	Не обн.	0,005— 0,05	0,005— 0,03	Не обн.	Не обн.
0,005— 0,02	0,0005— 0,005	Не обн.— 0,005	0,01—0,1	0,01	0,0005— 0,03	0,0005	»
0,001— 0,025	0,001— 0,07	0,005— 0,5	Не обн.	0,005— 0,01	0,005— 0,03	0,001— 0,005	Не обн.— 0,001
Не обн.	0,005— 0,035	Не обн.	»	Не обн.— 0,05	0,0005— 0,03	Не обн.	Не обн.
0,001	0,005— 0,02	Не обн.— 0,1	»	Не обн.— 0,005	Не обн.— 0,0005	»	»
0,001— 0,015	0,005— 0,02	Не обн.— 0,005	0,01	Не обн.— 0,005	0,0005	0,001	»

лизированных образцов халькопирита не были обнаружены (чувствительность открытия 0,001%) таллий, галлий и германий.

Блеклая руда принадлежит к числу минералов-примесей, пользующихся в изученных рудах широким распространением. Количество блеклой руды, как правило, невелико, обычно же просто незначительно. Встречается блеклая руда в основном в виде неправильных и изометричной формы выделений, размером от тысячных до сотых долей миллиметра, а также в виде тонких ветвящихся прожилков, тесно ассоциирующих с галенитом, халькопиритом III, самородным серебром и золотом, кальцитом и, реже, стanniном, ширротинном и буланжеритом. Время выделения блеклой руды соответствует начальным моментам кристаллизации основной массы галенита.

Состав блеклой руды изучен недостаточно. Основываясь на цветном оттенке минерала в отраженном свете, а также интенсивности и окраске внутренних рефлексов можно предполагать наличие в изученных рудах по крайней мере двух разновидностей блеклой руды: тетраэдрита (Савинское № 5, Почекуевское, Кличкинское, Чупинское месторождения) и теннантита (Мыльниковско-Хоркиринское месторождение). В табл. 41 приводится полный химический анализ тетраэдрита из руд Кличкинского месторождения, произведенный Э. В. Книпович (Смирнов, 1965).

Станнин является довольно обычной примесью в исследуемых рудах. Его присутствие установлено в Савинском № 5, Почекуевском, Каменском, Кличкинском, Чупинском, Мыльниковско-Хоркиринском месторождениях и в рудопроявлении Северная Шахта. Встречается станнин обычно в ничтожных количествах,

Результаты химического анализа буланжерита и джемсонита из руд месторождения Савинского № 5

Элемент	1	2	Атомные количества	
			1	2
Pb	56,70	39,69	273,635	191,545
Sb	23,02	34,87	189,060	286,383
As	0,11	—	14,468	—
Cu	0,76	0,09	11,961	1,416
Sn	0,06	—	—	—
Ag	—	0,02	—	—
Bi	0,04	0,07	0,191	0,335
Fe	—	2,60	—	46,553
Zn	0,8	—	12,236	—
S	17,83	21,68	556,041	676,106
CaO	—	0,43	—	—
H. o.	—	0,49	—	—
Σ	99,32	99,84		
Расчетная формула			$Pb_5 \cdot Sb_1 \cdot S_{11,01}$	$Pb_{3,97} \cdot Fe_{0,96} \times$ $\times Sb_{5,94} \cdot S_{14}$
Аналитик			Г. А. Арапова и Ю. С. Несте- рова (ИГЕМ)	Л. Е. Новороссова (ИМГРЭ)

Примечания. 1. Проба 1 — буланжерит, данные В. В. Архангельской, 1963. Проба 2 — джемсонит, данные Т. Н. Чви-
лиевой (ИМГРЭ).

2. Присутствующие в пробе 1 мышьяк, медь, цинк, а также избыток свинца при пересчете анализа вычитаются вместе с соответствующим количеством серы в виде сфалерита, блеклой руды и галенита.

Таблица 40

Результаты замеров микротвердости буланжерита и джемсонита

Минерал	Месторождение	Микротвердость*, кг/мм ²
Буланжерит	Савинское № 5 . . .	138—167
»	Почекуевское . . .	145—180
Джемсонит	Савинское № 5 . . .	100—120

* Замеры твердости выполнены С. И. Лебедевой на микротвер-
дометре ПМТ-3 при нагрузке в 10 г.

часто только в виде очень тонкой (тысячные и сотые доли миллиметра) эмульсионной вкрапленности в сфалеритах. В относительно заметном количестве он обнаружен только в Почекуевском, Чупинском и Каменском месторождениях, где помимо сфалерита станный устанавливается также в сростании с халькопиритом, буланжеритом и галенитом.

Т а б л и ц а 41

Химический состав тетраэдрита из руд Кличкинского месторождения (в %)

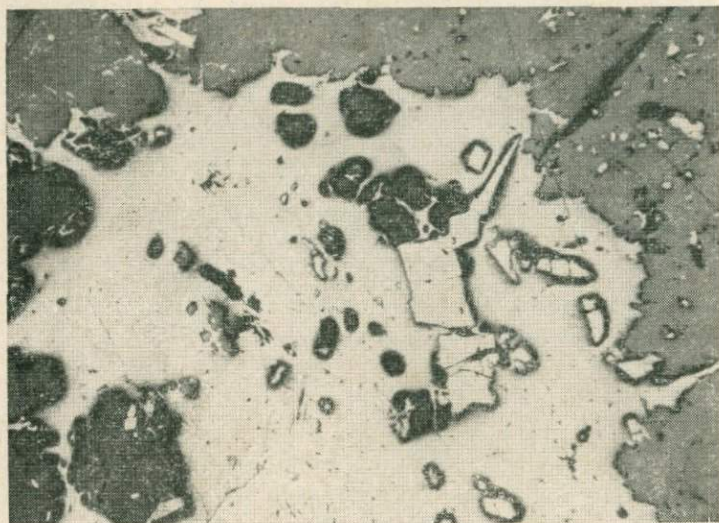
Элемент	Вес. %	Атомные количества	Элемент	Вес. %	Атомные количества
As	1,18	157,0	Zn	3,77	576,0
Sb	24,81	2034,0	Ag	1,59	147,0
Bi	Нет	—	Ni	Сл.	—
Cu	39,26	6134,0	S	24,50	7632,0
Pb	Неопр.	—	H. o.	0,38	—
Fe	4,45	794,0	Σ	99,94	17474

Расчетная формула $(\text{Cu, Fe, Zn, Ag})_{3,4} \text{SbAsS}_{3,4}$.

Касситерит. Наряду с касситеритом, встречающимся в продуктах наиболее высокотемпературных предрудных стадий минералообразования (грейзенах, альбититах, аксините и др.), в рудах Савинского № 5, Почекуевского, Чупинского и Кличкинского месторождений устанавливается более поздняя разновидность этого минерала, тесно ассоциирующая с галенитом, буланжеритом, игольчатым арсенопиритом, кварцем и кальцитом. Количество его в полиметаллических рудах, как правило, ничтожно. Этот касситерит развивается обычно в виде бесцветных очень мелких округлой формы зерен или же шестоватых, часто игольчатого облика кристаллов, размеры которых лишь в редких случаях превышают сотые доли миллиметра (фиг. 20).

Валлериит, кубанит, борнит встречаются в изученных рудах очень часто, но в весьма ограниченном количестве. Их присутствие установлено в Савинском № 5, Почекуевском, Кличкинском, Каменском, Мыльниковско-Хоркиринском месторождениях, в рудопроявлении Северная Шахта. В полированных шлифах они могут наблюдаться только при сильных увеличениях, но диагностируются без труда, благодаря весьма характерным оптическим свойствам. Все три минерала встречаются только как продукт распада твердого раствора в пирротине I и II, халькопирите I и II и сфалерите I и II. Размер выделений редко превышает тысячные доли миллиметра.

Магнетит относится к числу минералов-примесей, пользующихся в изученных рудах относительно широким распространением.



Фиг. 20. Ассоциация позднего арсенспирита (белое, рельефное), буланжерита (светло-серое) и галенита (белое) корродирует сфалерит (серое). В буланжерите и галените видны округлой формы выделения касситерита (темно-серое, рельефное). Полированный шлиф, увел. 150 (Почекуевское месторождение)

нием. Под микроскопом устанавливаются следующие разновидности магнетита:

1) мелкозернистая вкрапленность в гидротермально измененных интрузивных породах (альбититах, микроклинитах, грейзенах, березитах и т. д.), возникающая при разложении темноцветных минералов (Каменское, Мыльниковско-Хоркиринское, Файтеловское месторождения, рудопоявление Северная Шахта и др.);

2) обособленные выделения, ассоциированные с галенитом, сфалеритом, пиритом и халькопиритом, образование которых связано непосредственно с самим процессом рудоотложения (Савинское № 5, Почекуевское, Каменское, Мыльниковско-Хоркиринское месторождения, рудопоявление Северная Шахта);

3) очень тонкие субграфические сростания с пиритом и анкеритом, образовавшиеся в результате гипогенного замещения пиротина (Савинское № 5 и Почекуевское месторождения);

4) таблитчатые и игольчатые агрегаты, представляющие собой псевдоморфозы магнетита по гематиту, — мушкетовит (Северная Шахта).

Серебро самородное в изученных рудах встречается довольно часто. В настоящее время присутствие самородного серебра установлено в рудах Савинского № 5, Почекуевского, Клич-

кинского, Каменского, Мыльниковско-Хоркиринского и Мелентьевского месторождений, рудопроявления Северная Шахта.

Обычные формы выделений серебра — мелкие изометрические, кашлевидные и неправильной формы зерна в полях галенита и реже сфалерита. Размер выделений лишь в редких случаях превосходит сотые доли миллиметра; обычно же их величина измеряется сотыми и даже тысячными долями миллиметра. Выделения серебра постоянно связаны с другими серебросодержащими минералами (аргентитом, пираргитом, стефанитом, полибазитом), а также тесно ассоциируют с блеклой рудой, буланжеритом, халькопиритом III, игольчатым арсенопиритом и минералами группы сульфоарсенидов свинца, минералами группы герсдорфит — ульманит, висмутом самородным, висмутином. Постоянная связь перечисленных выше минералов с несомненностью указывает на близость их кристаллизации во времени.

Неоднородность строения зерен серебра, наблюдавшаяся в ряде случаев при изучении с плотным синим светофильтром, позволяет допустить, что некоторая его часть представлена золотистой разностью — электрумом (Мыльниковско-Хоркиринское и Савинское № 5 месторождения). Микротвердость этих выделений, замеренная на приборе ПМТ-3 при нагрузке 5 г, равна 81—83 кг/мм² и близка к значениям твердости эталонного электрума (Лебедева, 1963).

Пираргирит и аргентит — типичнейшие минералы-примеси исследуемых руд. Встречены почти во всех месторождениях района, первичные руды которых были доступны для наблюдения (Савинском № 5, Почекуевском, Кличкинском, Чупинском, Каменском, Мыльниковско-Хоркиринском, Савинском). Наиболее частая форма проявления — округлого вида включения, просечки и короткие ветвящиеся прожилки в галените. Размер выделений редко превышает сотые доли миллиметра. Оба минерала, как правило, находятся в тесном сростании с буланжеритом, пирротином III, самородным серебром и по времени образования очень близки к галениту.

В большинстве случаев пираргирит и аргентит производят впечатление гипогенных образований. Основанием для этого служит их тесная ассоциация с первичными минералами, совершенно не затронутыми процессами поверхностного разложения, а также факт их нахождения в рудах, расположенных значительно ниже границы зоны окисления.

Пирротин — широко распространенный минерал. В виде ничтожной примеси обнаружен почти во всех месторождениях района и только в рудах месторождения Савинского № 5 приобретает значение главного рудного минерала. В зависимости от времени образования удается выделить три разновидности пирротина.

Первая, наиболее ранняя и количественно преобладающая разновидность (пирротин I), характерная только для руд месторож-

дения Савинского № 5, образовалась в колчеданную стадию. Формы выделений самые разнообразные: массивные агрегаты, вкрапленники. Из минералов, ассоциирующих с пирротином I, особенно характерны: пирит I, кварц, серицит, в меньшем количестве, но постоянно отмечаются халькопирит I, эпидот, актинолит и как примеси сфалерит I, валлериит, кубанит, висмутин, висмут самородный, тетрадимит, теллуру-висмутит, брейтгауптит, золото и серебро самородные, турмалин (пирит-халькопирит-пирротиновая минеральная ассоциация).

Во всех наблюдавшихся случаях совместного нахождения колчеданного и полиметаллического оруденения агрегаты пирротина и ассоциирующие с ним минералы оказывались раздроблены, пересечены и сцементированы сфалеритом, галенитом, буланжеритом, кальцитом. В реликтовых обособлениях раннего пирротина среди полиметаллических руд отчетливо можно было наблюдать интенсивное замещение, особенно сфалеритом и галенитом.

Вторая и третья разновидности пирротина образовались в полиметаллическую стадию. Обе разновидности широко распространены в изученных рудах (особенно пирротин II), но в количественном отношении они резко подчинены первой разновидности. Пирротин II представляет эмульсионную вкрапленность в темноокрашенных разностях сфалерита II, где он постоянно ассоциирует с халькопиритом, валлериитом, борнитом, кубанитом и станнином. Пирротин III характерен для руд Кличкинского и Савинского № 5 месторождений, где он в виде мелких пластинчатых выделений и небольших обособлений — в сростании с блеклой рудой, буланжеритом, халькопиритом III, заключен в галените.

По данным Н. М. Прокопенко и Н. В. Лизунова пирротин первой разновидности из руд месторождения Савинского № 5, анализированный на основные компоненты, по составу весьма близок к теоретическому (табл. 42). В этой пробе не были обнаружены никель и кобальт. Частными химическими анализами образцов, собранных автором, в пирротине I месторождения Савинского № 5 эти

Таблица 42

Результаты химического анализа пирротина первой разновидности из руд месторождения Савинского № 5

	Fe	Zn	Ni	Co	S	Н. о.	Σ	Расчетная формула
Вес. %	60,44	0,08	Нет	Нет	39,22	0,28	100,02	
Атомные количества	107,92	12,0	—	—	122,18	—	—	Fe _{8,8} S ₁₀

Примечание. Присутствующий в пробе пирротина цинк при пересчете анализа вычитался вместе с соответствующим количеством серы в виде сфалерита.

элементы были зафиксированы: никель 0,0026%, кобальт 0,0132%. Кроме того, были установлены висмут 0,0005%, селен 0,0017% и теллур 0,0002%. Определялись, но не обнаружены таллий и галлий. Спектральные анализы указывают на присутствие сурьмы (сотые доли процента), титана, олова, меди (тысячные доли процента), спорадически встречаются мышьяк, свинец и цинк. По данным С. А. Аксеновой, пробирным анализом в пирротине месторождения Савинского № 5 отмечаются также следы золота и тысячные доли процента серебра.

Арсенопирит — относительно широко распространенный минерал. Крупные самостоятельные скопления арсенопирита установлены в рудах Почекуевского, Чупинского, а также в некоторых участках Савинского № 5 и Кличкинского месторождений. В рудах всех других месторождений арсенопирит отмечается лишь как третьестепенная примесь.

Отчетливо выделяются две разновидности арсенопирита. Наиболее ранняя (преобладающая) разновидность арсенопирита образовалась в колчеданную стадию. Арсенопирит I развит в виде крупных (до 0,3—1,0 см) эвгдральных короткостолбчатых, реже ромбовидных или прямоугольного сечения кристаллов, образующих в тесном сростании с пирритом I и кварцем сплошные агрегаты и зоны вкрапленников. Крупные, хорошо образованные выделения пирита, как правило, ксеноморфны по отношению к арсенопириту, хотя в ряде случаев наблюдались и явно обратные соотношения, что указывает на одновременность их кристаллизации.

Агрегаты и зерна арсенопирита I почти повсеместно несут следы дробления. Катаклазированные участки сцементированы пирротинном, сфалеритом, галенитом, буланжеритом, кварцем и карбонатом. Все перечисленные минералы интенсивно корродируют арсенопирит I.

Более поздняя разновидность арсенопирита (арсенопирит II) кристаллизовалась в полиметаллическую стадию. В виде мельчайших (тысячные и сотые доли миллиметра) кристалликов удлиненной копьевидной формы, часто образующих сложные двойниковые сростки, арсенопирит II в ассоциации с буланжеритом, касситеритом, кварцем и другими минералами сульфоантимонитовой ассоциации слагает тонкие (до 0,2—0,3 мм мощности) прожилки и пересекает сфалерит-галенитовые агрегаты. Присутствие арсенопирита II установлено в рудах Савинского № 5, Почекуевского, Кличкинского и Каменского месторождений. Количественная значимость этой разновидности, за исключением Почекуевского месторождения, весьма невелика.

Представилось возможным отобрать и подвергнуть анализу только арсенопириты первой разновидности из руд Савинского № 5, Почекуевского, Чупинского и Кличкинского месторождений.

Химическими анализами в пробах арсенопирита I были обнару-

жены селен и теллур (следы — десятитысячные доли процента). Ни в одном из образцов не были установлены галлий и галлий. Пробирным анализом, по данным С. А. Аксеновой, в арсенопиритах Почекуевского месторождения зафиксировано золото (0,0004%). Спектральными анализами выявлены: кобальт и сурьма (десятые доли процента), никель (тысячные и сотые доли процента), олово, висмут, свинец и цинк (тысячные доли процента), медь, серебро (тысячные и десятитысячные доли процента).

Ганит ($ZnAl_2O_4$) — характерный аксессуарный минерал измененных (березитизированных) гранитов Дмитриевского рудопроявления, где он был впервые обнаружен Ф. Н. Алексеевым в 1957 г. Согласно нашим исследованиям, ганит наблюдается в виде округлой формы зерен, размером не более 1—2 мм в тесной ассоциации с кварцем, серицитом, карбонатом, плеонастом и пиритом. Минерал имеет ярко-зеленую окраску и стеклянный блеск. Удельный вес, определенный методом непосредственного измерения объема и веса минерала из микронавески, равен 4,2 (среднее из трех замеров). Минерал электромагнитен, оптически изотропен, показатель преломления, определенный иммерсионным методом в высокопреломляющих фосфорных жидкостях, равен $1,765 \pm 0,002$. Данные рентгеноструктурного анализа показали хорошее совпадение с дебаеграммой эталонного ганита. Результаты спектроскопических исследований трех проб ганита свидетельствуют, что главными компонентами рассматриваемого минерала являются цинк и алюминий. Кроме них, в составе минерала фиксируется значительная примесь кремния и железа (0,5%), а также кальций и свинец (0,001—0,005%), магний и марганец (0,05%), галлий и бериллий (0,005—0,01%), цирконий (0,01%), серебро и медь (0,0005%).

Марказит и мельниковит как второстепенная примесь отмечаются почти во всех месторождениях района, в составе руд которых имеется пирротин (Почекуевском, Савинском № 5, Чупинском, Каменском, Мыльниковско-Хоркиринском, Кличкинском месторождениях, рудопроявлении Северная Шахта). В относительно заметном количестве оба минерала встречаются лишь в рудах Савинского № 5 и Почекуевского месторождений. Тесная ассоциация марказита и мельниковита с рудными минералами, развитыми значительно ниже границы влияния зоны окисления, показывает, что некоторая их часть несомненно связана с преобразованием пирротина в гипогенных условиях. Судя по присутствию марказита и мельниковита в различных минеральных ассоциациях (галенитовой, сульфоантимонитовой, кварц-флюоритовой, цеолит-кальцитовой) образование их в том или ином количестве происходило в течение длительного периода.

Золото самородное встречается в рудах рассматриваемых месторождений в виде мелких (тысячные и сотые доли миллиметра) и очень редких включений, обнаруживаемых лишь в поли-

рованных шлифах при больших увеличениях. Присутствие самородного золота установлено в Савинском № 5, Почекуевском, Каменском и Мыльниковско-Хоркиринском месторождениях. Принадлежность самородного золота к гипогенным образованиям подтверждается во всех случаях значительной глубиной залегания сульфидных руд, в которых оно встречалось (от 50 до 400 м), а также тесной ассоциацией его с первичными минералами (пирротин, арсенопирит, галенит, сфалерит, халькопирит, блеклой рудой и др.), при отсутствии каких-либо гипогенных изменений в последних.

Встреченные в единичных случаях мелкие выделения самородного золота не дают достаточных оснований для суждения о месте его в парагенетическом ряду. Золото, по всей вероятности, выделялось в одном случае близко во времени с арсенопиритом, пирротин, пиритом, халькопиритом и другими минералами колчеданной стадии, в других случаях — почти одновременно с галенитом, блеклой рудой и халькопиритом III, кристаллизовавшихся в полиметаллическую стадию минерализации.

Гематит в изученных рудах довольно редок. Во всех наблюдавшихся случаях (рудопроявление Северная Шахта, Савинское № 5 и Почекуевское месторождения) гематит почти полностью преобразован в мушкетовит и наблюдается под микроскопом среди мушкетовита только в виде реликтовых участков.

Брейтгауптит (NiSb) установлен автором в нескольких шлифах, изготовленных из пирротиновых руд с глубоких горизонтов месторождения Савинского № 5 (горизонт 634 м, юг, рассечка 55). Здесь он встречается в виде небольших зерен неправильной формы, заключенных в пирротине. Размер выделений редко превышает тысячные доли миллиметра. С брейтгауптитом часто ассоциирует халькопирит I, а из редких — самородное золото и калаверит.

Диагностика брейтгауптита не представляет трудностей даже в мельчайших выделениях, так как в шлифах он обладает следующими типичными свойствами: высокой отражательной способностью (равной пириту), розовым цветом и отчетливым двуотражением с цветным эффектом (от белесо-розового до густого фиолетово-розового), сильной анизотропностью и относительно высоким рельефом — выше чем у пирротина (Волынский, 1949).

Реакция с диметилглиоксидом и рубановой кислотой методом отпечатков с применением электротравления дала положительные результаты на никель и отрицательные на кобальт.

Время выделения брейтгауптита соответствует, по-видимому, моменту кристаллизации основной массы пирротина I, с которым он тесно ассоциирует (колчеданная стадия).

Раммельсбергит (NiAs_2) обнаружен в рудах месторождения Савинского № 5 (горизонт 664 м, юг, рассечка 38, 44а, 45а). Во всех наблюдавшихся случаях раммельсбергит ассоциирует

с пиритом, пирротином и халькопиритом, образовавшимися в колчеданную стадию. Его выделения, размер которых редко превышает сотые доли миллиметра (обычно тысячные доли миллиметра), по своему облику напоминают кристаллы арсенопирита. Минерал определен по следующим диагностическим признакам: высокая отражательная способность, цвет белый, без всяких оттенков, двуотражение заметно только с иммерсией (от бледно-голубого до бледно-желтого); при скрещенных николях сильно анизотропен с ярким цветным эффектом (от зеленовато-голубоватого до красновато-коричневого). Минерал часто обнаруживает сложные пластинчатые полисинтетические двойники, ориентированные в зернистых сростках преимущественно поперек удлинению. Рельеф минерала выше рельефа пирротина и халькопирита, но заметен ниже рельефа пирита. Твердость, измеренная на приборе ПМТ-3 при нагрузке 100 г, колеблется в пределах от 555 до 642 кг/мм², среднее — 591 кг/мм², что вполне согласуется с известными данными по абсолютной твердости этого минерала (Лебедева, 1963). Минерал интенсивно травится HNO₃, слабо буреет от HgCl₂. Реакция на никель методом отпечатков с применением электротравления дает положительный результат.

При рентгеноструктурном анализе ввиду очень малых количеств анализируемого материала на полученной дебаеграмме можно было различить всего лишь четыре линии, которые, как это оказалось при дальнейшей расшифровке, соответствовали основным опорным линиям раммельсбергита, приводимых в справочнике В. И. Михеева (1957) — $d/n = 2,85-2,83; 2,58-2,53, 2,46; 1,89-1,87$.

Ульманит — (NiSbS) наблюдался в трех шлифах и каждый раз в виде очень мелких (тысячные доли миллиметра) кубического облика кристаллов, заключенных в пирротине на границе его срастания с галенитом и буланжеритом (месторождение Савинское № 5, горизонт 664 м, север, орт 2 и горизонт 634 м, юг, рассечка 55). В ассоциации с ульманитом постоянно отмечается самородное серебро.

Минерал характеризуется следующими диагностическими свойствами: отражательная способность близка халькопириту, цвет белый, в иммерсии с очень слабым голубоватым оттенком, изотропный, рельеф значительно выше рельефа пирротина. Микрхимическая реакция на никель с диметилглиоксимом положительная. По совокупности перечисленных признаков описываемый минерал может быть уверенно отнесен к группе минералов герсдорфит — ульманит (Волинский, 1947). Внутри группы предпочтение отдается ульманиту, так как схожий по всем другим признакам герсдорфит имеет меньшую отражательную способность и отчетливый желтоватый оттенок (Рамдор, 1962). Постоянная ассоциация с буланжеритом также свидетельствует в пользу антимонида, а не арсенида никеля.

Бурнонит — относительно редкий минерал. Ранее отмечался Н. С. Талдыкиной (1959) в месторождении Савинском № 5, установлен нами также в рудах Кличкинского и Почекуевского месторождений. Во всех случаях бурнонит наблюдался в ассоциации с буланжеритом, галенитом, игольчатым арсенопиритом, касситеритом, кварцем и кальцитом (сульфоантимонитовая минеральная ассоциация). Здесь он образует тонкие вкрапления среди указанных минералов, особенно часто среди буланжерита. Размер выделений редко превышает сотые доли миллиметра.

От близкой по цвету блеклой руды бурнонит отличается несколько большей отражательной способностью и анизотропией; последнее хорошо заметно с иммерсией при не вполне скрещенных николях. При этом проявляются очень характерные полисинтетические двойники.

Диагностика бурнонита из руд месторождения Савинского № 5 подтверждена рентгеноструктурными данными. Отборка проб осуществлялась с помощью алмазной пирамидки микротвердометра ПМТ-3. На полученных дебаеграммах были расшифрованы девять линий, близких основным межплоскостным линиям эталонного бурнонита, приводимым в справочнике В. И. Михеева, $d/n = 3,93; 3,39; 3,02; 2,75; 2,59; 1,97; 1,87; 1,77; 1,66$. Микротвердость, замеренная на приборе ПМТ-3 при нагрузке 10—20 г, находится в пределах 150—179 кг/мм², при $H_{sp} = 160$ кг/мм², что также согласуется с известными данными по абсолютной твердости этого минерала (Лебедева, 1963).

Висмутин (Bi_2S_3) — редкий минерал, установлен в пирротиновых рудах месторождения Савинского № 5 в ассоциации с халькопиритом I, сфалеритом I, висмутом самородным и золотом (горизонт 634 м, блок 14). Форма выделений — тонкие ветвящиеся прожилки и отдельные эвгедральные зерна, размер которых редко превышает сотые доли миллиметра. При диагностике учитывалась ассоциация и ряд типичных свойств: бесцветен, отражательная способность, вследствие двуотражения, изменяется (для желтых лучей): $R_g = 48\%$ (близка халькопириту), $R_p = 42\%$ (значительно ниже халькопирита, но выше пирротина). В первом положении минерал имеет желтоватый оттенок, во втором — голубоватый. При наблюдении с иммерсией двуотражение резко усиливается. При скрещенных николях исследуемый минерал отчетливо анизотропен, внутренние рефлексии незаметны даже с иммерсией. Рельеф висмутинита значительно выше рельефа самородного висмута, но ниже, чем у халькопирита, пирротина и сфалерита. Микротвердость, измеренная на приборе ПМТ-3 при нагрузке 10 г, колеблется в пределах от 160 до 179 кг/мм²; отмечается слабая анизотропия твердости, коэффициент анизотропии $K_H = 1,12$.

Диагностика висмутинита подтверждена данными рентгеноструктурного и спектрального анализов. Были засняты три пробы, ото-

бранные методом прочерчивания минерала в шлифе алмазной пирамидкой прибора ПМТ-3; на полученных дебаграммах были расшифрованы три линии, близкие по своему характеру главным опорным линиям висмутита, приводимым в справочнике В. М. Михеева (1957, — d/n — 3,53—3,50; 3,10—3,07; 2,80).

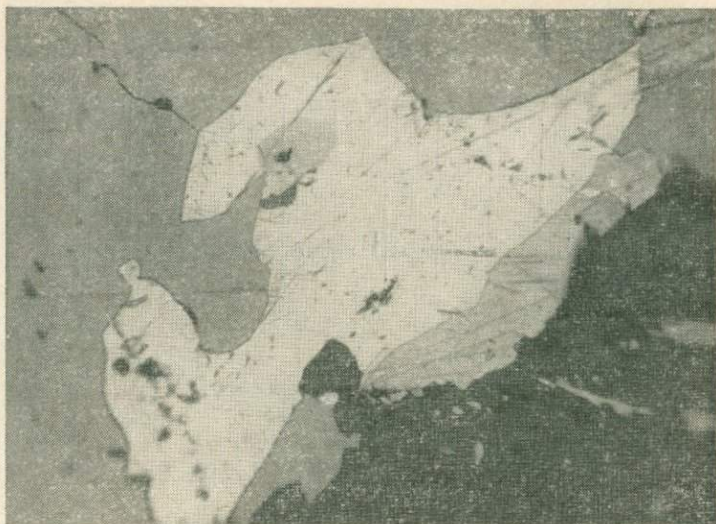
Спектральный анализ, проведенный И. П. Тоюшевым, показал, что ведущим элементом исследуемого минерала является висмут.

Висмут самородный обнаружен в четырех шлифах из пирротиновых руд месторождения Савинского № 5 (горизонт 634 м, блок 14). Исследуемый минерал тесно ассоциирует с висмутином и самородным золотом, а также с ранними разновидностями халькопирита I и сфалерита I, встречаясь в последних в виде тонких прожилков и отдельных неправильной формы выделений, размером в тысячные и сотые доли миллиметра. Диагностика минерала не вызывает сомнений. Высокая отражательная способность, отчетливый розовый оттенок, сильная анизотропия и низкий рельеф ($H_{cp} = 18,5 \text{ кг/мм}^2$) не позволяют спутать самородный висмут ни с каким другим минералом (Вольнский, 1949).

Шеелит — очень редкий акцессорный минерал. Обнаружен под микроскопом в виде мелких (сотые доли миллиметра) округлой и таблитчатой формы зерен в аксинитизированных породах месторождения Савинского № 5 и грейзенизированных гранитах Каменского и Кличкинского месторождений.

Калаверит (?) (AuTe). В двух шлифах месторождения Савинского № 5 (горизонт 634 м, юг, рассечка 55) среди крупных скоплений пирротина и халькопирита, содержащих мельчайшие включения брейтгаунтита и самородного золота, были встречены столь же ничтожные по величине (тысячные доли миллиметра) пластинчатой формы выделения неизвестного минерала, по своим свойствам приближающегося к калавериту (Вольнский, 1949): отражательная способность значительно выше пирита, но ниже отражательной способности золота, цвет — бледно-желтый; анизотропный, двуотражение заметно только в иммерсии; рельеф ниже пирротина (мягкий). Микрохимические испытания не проводились ввиду малого размера выделений. В пробе пирротина, содержащего этот минерал, спектральным анализом было обнаружено серебро и золото (сотые доли процента), а химическим анализом установлен теллур (0,007%).

Алтаит (PbTe). В полях мелкозернистого галенита месторождения Савинского № 5 (горизонт 694 м, север, рассечка 29) неоднократно встречались мельчайшие (тысячные доли миллиметра и меньше) включения зеленовато-белого высокоотражающего минерала изометричной формы. При этом окраска самого галенита воспринимается как нежно-сиреневая (фиолетовая). Рассматриваемый минерал изотропен, его рельеф заметно ниже галенита. В пробе галенита, обогащенной этим минералом, химическим ана-



Фиг. 21. Неправильной формы выделение теллуровисмутита (белое) в халькопирите (светло-серое) и пирротине (серое). В теллуровисмутите присутствуют мелкие включения тетрадимита. Полированный шлиф, увел. 750 с иммерсией (месторождение Савинское № 5)

лизом установлено 0,0085% теллура. По совокупности оптических свойств (Вольнский, 1949) и данным химического анализа исследуемый минерал определен как алтаит.

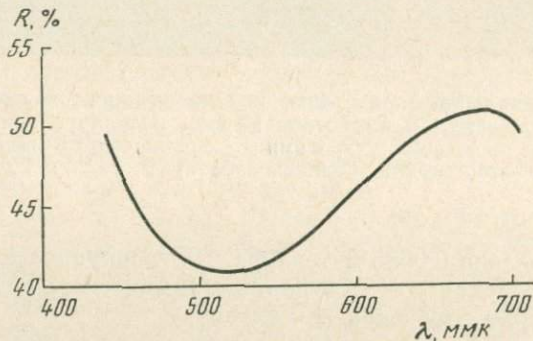
Теллу ров и см у т и т (Bi_2Te_3) относится к числу минералов, находки которых единичны в Приаргунских полиметаллических месторождениях (Читаева, 1962). Исследованиями автора теллу ров и см у т и т обнаружен в одном шлифе, изготовленном из пирротиновых руд месторождения Савинского № 5 (горизонт 634 м, блок 14). Здесь он наблюдался в виде единичного зерна (размером в сотые доли миллиметра), заключенного среди выделений пирротина I, халькопирита I и сфалерита I в ассоциации с тетрадимитом и самородным золотом (фиг. 21).

Минерал характеризуется следующими диагностическими свойствами: высокая отражательная способность, цвет белый с очень слабым кремоватым оттенком; явления анизотропии и двуотражения выражены довольно слабо и обнаруживаются лишь с иммерсией. Относительный рельеф минерала очень близок рельефу тетрадимита (чуть выше) и резко ниже рельефа пирротина, халькопирита и сфалерита. Его твердость, замеренная методом микровдавливания на приборе ПМТ-3 при нагрузке в 2 г, составляет 66,8 кг/мм². В табл. 43 приведены результаты замеров дисперсии отражательной способности исследуемого минерала.

Дисперсия отражательной способности (R_{cp}) теллуровисмутита в иммерсии по спектру

λ , ммк	440	460	480	500	520	540	560	580	600	620	640	660	680	700
R , % (в иммерсии) . .	49,5	45,0	42,4	41,3	40,9	41,4	42,4	43,9	45,8	47,8	49,4	50,4	50,3	50,2

Замер дисперсии осуществлялся в иммерсии по халькопириту с помощью фотометрического окуляра ОКФ-1 по методу И. С. Волынского. Результаты замеров интерпретируются в виде кривой дисперсии (фиг. 22), характер которой очень близок кривой изменения отражательной способности эталонного теллуровисмутита



Фиг. 22. Кривая дисперсии отражательной способности теллуровисмутита

из руд Зодского месторождения, замеренного (в иммерсии по алтауту) Л. А. Логиновой.

Для окончательной диагностики минерала были проведены рентгенометрические и спектроскопические исследования. Отборка проб для анализа осуществлялась с помощью прибора ПМТ-3. Полученные на дебаеграмме линии отвечают следующим основным межплоскостным расстояниям теллуровисмутита — $d/n = 3,23-3,19$ и $2,38-2,37$ (Михеев, 1957).

Спектральный анализ, проведенный И. П. Тоюшевым, показал, что основу минерала составляют висмут и теллур.

Тетрадимит ($2\text{Bi}_2\text{Te}_3 \cdot \text{Bi}_2\text{S}_3$). Минерал, отнесенный нами к тетрадимиту, обнаружен в одном шлифе, изготовленном из существенно пирротиновых руд месторождения Савинского № 5 (горизонт 632 м, блок 14). Исследуемый минерал тесно ассоциирует с

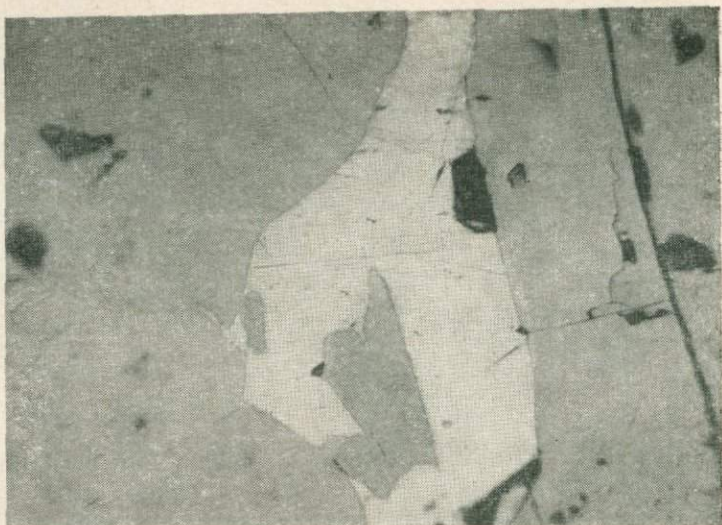
пирротином I, халькопиритом I, сфалеритом I, самородным золотом и теллурувисмутитом, встречаясь в последнем в виде мелких таблитчатых выделений, размер которых редко превышает тысячные доли миллиметра (фиг. 22).

Минерал был определен на основании следующих диагностических признаков: в отраженном свете бесцветен с очень слабым голубовато-зеленоватым оттенком; отражательная способность значительно выше халькопирита и чуть заметно ниже отражательной способности теллурувисмутита. Двухотражение и анизотропия очень слабые, обнаруживаются лишь с иммерсией. Относительный рельеф очень близок рельефу теллурувисмутита (чуть ниже) и резко ниже рельефа халькопирита и пирротина. Твердость, измеренная на приборе ПМТ-3 при нагрузке в 2 г, равна $54,3 \text{ кг/мм}^2$ и близка к значениям твердости тетрадимита, приведенных С. И. Лебедевой (1963).

Дискразит (Ag_3Sb). Минерал, определенный нами как дискразит, был встречен в двух шлифах из сплошной свинцово-цинковой руды месторождения Савинского № 5 (горизонт 634 м, юг, рассечка 55). Форма выделений игольчатая, размером не более 0,01 мм (фиг. 23). Ассоциирует с галенитом. Минерал характеризуется высокой отражательной способностью, несколько приближающейся к отражательной способности серебра; цвет серебрино-белый с отчетливым желтоватым оттенком. Слабо анизотропен. По относительному рельефу выше галенита, но ниже пирротина. Подобно самородным металлам тонко исштрихован. Микрохимические испытания не проводились ввиду ничтожного размера выделений. В пробе галенита, содержащего этот минерал, спектральным анализом были обнаружены серебро и сурьма в количествах, превышающих десятые доли процента.

Прустит ($3\text{Ag}_2\text{S} \cdot \text{As}_2\text{S}_3$) минерал редкий, установлен всего лишь в двух шлифах Каменского месторождения. В обоих случаях представлен небольшими (0,002 и 0,05 мм) неправильной формы зернами с тонкими апофизами среди полей галенита. В ассоциации с пруститом развиты: блеклая руда, халькопирит, самородное серебро и пираргирит. По своим оптическим свойствам прустит очень близок к пираргириту, и только в сростании оба минерала диагностируются достаточно уверенно. Отражательная способность прустита заметно ниже, голубоватый оттенок гораздо отчетливее (особенно с иммерсией), для внутренних рефлексов характерно присутствие оранжевого тона, вместо фиолетового, свойственного пираргириту.

Стефанит ($5\text{Ag}_2\text{S} \cdot \text{Sb}_2\text{S}_3$) обнаружен в двух шлифах из свинцовых руд Мыльниково-Хоркинского месторождения (Прокопьевский карьер, 3-й восстающий). Минерал представлен мелкими (тысячные и сотые доли миллиметра) неправильной формы зернами, ассоциирующими с халькопиритом III, блеклой рудой, сфалеритом и галенитом (фиг. 24). В выделениях стефанита



Фиг. 23. Тончайшие игольчатые выделения дискразита и изометричной формы вкрапления самородного серебра (белое) в галените (светло-серое). Основное серое поле—пирротин. Полированный шлиф, увел. 750 с иммерсией (месторождение Савинское № 5)



Фиг. 24. Выделения стефанита (светло-серое) в халькопирите (белое). В стефаните наблюдаются мелкие включения самородного серебра, образовавшиеся в результате светотравления. Темно-серое — сфалерит, черное — кварц. Полированный шлиф, увел. 750 с иммерсией (Мыльняковско-Хоркиринское месторождение)

постоянно наблюдаются точечные включения самородного серебра, количество которых резко увеличивается при светотравлении.

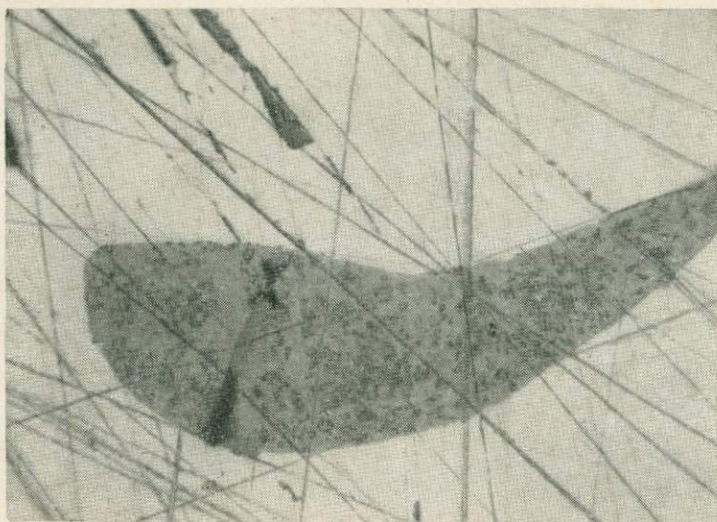
Основные диагностические признаки минерала следующие: отражательная способность близка отражательной способности блеклой руды, минерал бесцветен с отчетливым (в особенности с иммерсией) розоватым оттенком. Двуотражение в воздухе очень слабое, но с иммерсией значительно усиливается и сопровождается цветным эффектом: по N_g — белый, по N_p — розоватый. В скрещенных николях сильно анизотропен с цветным эффектом (от розовато-сиреневого до оливково-серого), хорошо видимом даже при наблюдении в порошке с иммерсией. Последнее служит важной отличительной особенностью стефанита (Вольинский, 1949).

Рельеф минерала ниже рельефа блеклой руды, халькопирита и галенита, твердость, измеренная на приборе ПМТ-3 методом микровдавливания при нагрузке 5—10 г, находится в пределах 114—129 кг/мм², при этом наблюдается анизотропия твердости первого рода, по С. И. Лебедевой (1963); $H_1 = 116$ кг/мм² и $H_2 = 127$ кг/мм².

Диагностика стефанита подтверждена рентгеноструктурным анализом. Были засняты две пробы, отобранные с помощью прибора ПМТ-3. На полученных дебаграммах были расшифрованы три линии, очень близкие по своему характеру главным опорным линиям стефанита, приводимым в справочнике В. И. Михеева, — $d/n = 3,05 - 3,03; 2,86 - 2,85; 2,55$.

Полибазит ($9Ag_2S \cdot Sb_2S_3$). Минерал, отнесенный нами к полибазиту, был обнаружен в одном шлифе из руд Мыльниковско-Хоркирского месторождения (Ново-Ивановская шахта, западный штрек, горизонт 634 м). Минерал встречен в парагенезисе со штрмейеритом среди крупных скоплений галенита (фиг. 25). Форма выделения — каплевидная, размер — $0,02 \times 0,1$ мм. Минерал определен по следующим диагностическим признакам: отражательная способность значительно ниже галенита, но выше штрмейерита (R около 30%); цвет в отраженном свете — белый с очень слабым зеленоватым оттенком; двуотражение слабое, наблюдается только с иммерсией: R_g — нежно-зеленоватый, R_p — синева-серый. В скрещенных николях проявляет довольно сильную анизотропию со слабым цветным эффектом (коричнево-зеленоватые тона при неполном скрещении николей). Темные вишнево-красные внутренние рефлексы заметны в воздухе, но не повсеместно, а лишь в нарушенных участках. Минерал легко поддается светотравлению, в связи с чем его поверхность всегда покрыта серым налетом. Рельеф ниже рельефа галенита, но выше штрмейерита. Твердость, измеренная на приборе ПМТ-3 методом микровдавливания при нагрузке 20 г, равна 101 кг/мм², что вполне согласуется с известными данными по абсолютной твердости полибазита, приведенных С. И. Лебедевой (1963).

Диагностика полибазита подтверждается также результатами рентгеноструктурных исследований (два определения). Отборка



Фиг. 25. Выделение полибазита (темно-серое) — шагреневое в результате светотравления в галените (светло-серое основное поле). Полибазит пересекается тонким прожилком штромейерита. Черное — дефекты полировки. Полированный шлиф, увел. 750 с иммерсией (Мыльшиковско-Хоркиринское месторождение)

проб для анализа осуществлялась с помощью микротвердометра ПМТ-3. Полученные на дебаеграмме три линии отвечают следующим основным межплоскостным линиям полибазита — $d/n = 3,17—3,18; 2,97—3,00; 2,87—2,89$ (Рамдор, 1962).

Штроейерит ($\text{CuS} \cdot \text{Ag}_2\text{S}$) в рудах Приаргунских месторождений отмечается впервые. Встречен в одном шлифе из руд Мыльшиковско-Хоркиринского месторождения (Ново-Ивановская шахта) в виде тонкого прожилка в полибазите (фиг. 25). Размер прожилка $0,005—0,007 \times 0,02$ мм.

Оптические свойства минерала, позволяющие диагностировать его как штроейерит, следующие: отражательная способность несколько ниже, чем у полибазита ($R = 25—27\%$), бесцветен с заметно розовато-сиреневым оттенком; двуотражение слабое, с иммерсией заметно усиливается и сопровождается цветным эффектом (светло-коричневато-сиреневый оттенок). В скрещенных николях сильно анизотропен, при этом отчетливо выявляется двойниковое строение минерала (структура «олеандрового листа») (Вольнский, 1949). Внутренних рефлексов нет.

По прочерчиванию минерал мягкий. Относительный рельеф выше рельефа полибазита, но ниже галенита. Ввиду малых разме-

ров выделения точный замер твердости исследуемого минерала методом микровдавливания произвести не удалось. Визуальное же сравнение отпечатков от микровдавливания на штроейерите и полибазите дает основание говорить, что первый минерал является более мягким.

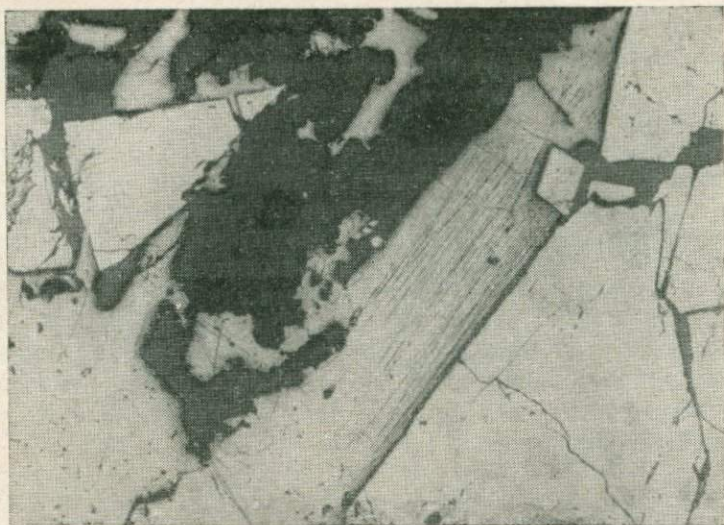
Следует еще раз подчеркнуть, что все описанные выше минералы серебра — прустит, стефанит, полибазит и штроейерит, относятся к сульфидным рудам, совершенно не затронутым процессом поверхностного окисления, т. е. все перечисленные минералы в данном случае несомненно являются гипогенными образованиями. Об этом свидетельствует прежде всего глубина залегания руд, в которых они были обнаружены (50—350 м), а также характер их парагенезиса (галенит, блеклая руда, халькопирит, буланжерит, игольчатый арсенопирит и др.). Все это, разумеется, не исключает возможного присутствия на верхних горизонтах месторождений гипергенных минералов серебра.

Цинкениит ($PbSb_2S_4$). Минерал, отнесенный нами к цинкенииту, был обнаружен в одном шлифе, изготовленном из свинцовых руд Кличкинского месторождения (отвалы Колчеданного прииска; коллекция Н. М. Прокопенко). Форма выделений: зернистые массы, а также плотные радиальнолучистые агрегаты, сложенные толстотаблитчатыми, иногда сильно исптрихованными кристаллами (фиг. 26). В ассоциации с цинкениитом развиты: кварц, игольчатый арсенопирит II и зелигманит (фиг. 27). Оптические свойства исследуемого минерала совершенно аналогичны свойствам буланжерита и джемсонита. Минерал бесцветен с очень слабым желтовато-зеленоватым оттенком, его отражательная способность близка таковой галенита; анизотропия отчетливая, двуотражение слабое, внутренние рефлексы красные, рельеф — низкий. Твердость (при нагрузке 20 г) колеблется в пределах 160—167 кг/мм².

Минерал диагностирован на основании результатов рентгеноструктурного и микроспектрального анализов. Отборка пробы для анализов осуществлена с помощью микротвердометра ПМТ-3. Полученные на дебаеграмме линии очень близки главным опорным линиям цинкениита, приведенным в справочнике В. И. Михеева, — $d/n = 3,44-3,40$; 2,80—2,78; 2,25; 2,15—2,12; 2,05—2,03; 1,95. Наличие дополнительных линий (2,72 и 2,55) в дебаеграммах исследуемых проб связано, по-видимому, с примесью других минералов, и вероятнее всего, зелигманита.

Микроспектральный анализ, проведенный В. Соболевой на установке Королева, показал, что основу минерала составляют свинец и сурьма.

Зелигманит ($PbCuAsS_3$) редкий минерал, обнаружен автором всего лишь в одном шлифе из свинцовых руд Кличкинского месторождения (отвалы Колчеданного прииска; коллекция Н. М. Прокопенко). Форма выделений — зернистый агрегат аллотриоморфной структуры, в виде ветвящегося прожилка



Фиг. 26. Тонкая исстрихованность кристалла цинкениита, параллельная плоскости двойникования. Белое рельефное—арсенипирит, черное — кварц. Полированный шлиф, увел. 150 (Кличкинское месторождение)



Фиг. 27. Пересечение цинкениита (серое основное поле), зелигманитом (ветвящиеся рельефные прожилки несколько более темные, чем цинкениит). Черное — кварц, белые идиоморфные кристаллы — арсенипирит. Полированный шлиф, увел. 50 (Кличкинское месторождение)

развивающийся по цинккентиту (фиг. 27). Размер прожилка $0,03 \times 1,2$ мм. Кроме цинккентита, с исследуемым минералом тесно ассоциируют игольчатый арсенопирит II, галенит, самородное серебро и кварц (сульфоантимонитовая ассоциация). Минерал характеризуется следующими отличительными свойствами: кристаллические зерна полисинтетически сдвойникованы, отражательная способность (R_g) очень близка цинккентиту, т. е. около 40%; минерал бесцветен, с очень слабым розовато-фиолетовым оттенком; в скрещенных николях сильно анизотропен с цветным эффектом в блеклых коричневато-зеленоватых тонах; двуотражение заметно только с иммерсией, но довольно отчетливо. Вопрос о внутренних рефлексах остается нерешенным. Наблюдающиеся с иммерсией красные рефлексы видны редко и, как правило, лишь в нарушенных участках, однако это могут быть внутренние рефлексы вмещающего цинккентита. Рельеф минерала выше рельефа цинккентита, но незначительно. Твердость, измеренная на приборе ПМТ-3 при нагрузке 20 г, равна 199 кг/мм^2 .

Минераграфическая диагностика зелигманита находит подтверждение в данных рентгеноструктурного анализа (три определения). Отборка проб для анализа осуществлялась с помощью прибора ПМТ-3. Полученные на дебаеграмме линии близки главным опорным межплоскостным расстояниям зелигманита, приводимых в справочнике В. И. Михеева, — $d/n = 3,85$ (при колебаниях 3,87—3,83), 2,72 (при колебаниях 2,73—2,70) и 2,57 (колебания 2,59—2,54).

Аляскаит ($\text{Pb, Ag}_2, \text{Cu}_2$)S · Bi_2S_3 и козалит ($2\text{PbS} \cdot \text{Bi}_2\text{S}_3$). Сульфовисмутиты свинца не были встречены нами в изученных месторождениях. Их присутствие было обнаружено предшествующими исследованиями С. А. Аксеновой, В. Е. Рудакова и В. А. Суматохина в рудах Савинского № 5, Почекуевского и Кличкинского месторождений в форме очень мелких и редких включений в галените.

Гессит (Ag_2Te) нами не обнаружен. Присутствие гессита отмечалось С. А. Аксеновой, В. Е. Рудаковым и В. А. Суматохиным в рудах месторождения Савинского № 5 в виде мельчайших выделений (тысячные доли миллиметра) в галените.

Фрейслебенит ($\text{Pb}_3\text{Ag}_4\text{Sb}_4\text{S}_{11}$) и семсейит ($9\text{PbS} \cdot 4\text{Sb}_2\text{S}_3$) в исследуемых рудах нами не были обнаружены. Оба минерала отмечаются С. А. Аксеновой, В. Е. Рудаковым и В. А. Суматохиным в рудах месторождения Савинского № 5 в виде незначительных по размеру включений в галените. Следует отметить, что приведенное описание этих минералов трудно признать исчерпывающим для их однозначного определения. Тем более, что микроскопическая диагностика этой группы минералов пока недостаточно разработана, а чрезвычайно малые размеры единичных выделений не позволили прибегнуть к диагностическому травлению и микрохимическим реакциям.

Нерудные минералы

Кварц — наиболее распространенный и количественно преобладающий жильный минерал. Формы выделений: зернистые массы и обособленные кристаллы, размер последних колеблется в самых широких пределах: от сотых долей миллиметра до 1 см. Кварц развит: 1) во вмещающих породах, подвергшихся воздействию наиболее ранних процессов пневматолитово-гидротермального изменения — грейзенах, альбититах и др.; 2) в составе колчеданных и полиметаллических руд, образовавшихся непосредственно в процессе рудного минералообразования; 3) в жилах в ассоциации с флюоритом, секущих сульфидные руды.

Для всех выделенных разновидностей кварца были выполнены спектральные анализы. Сравнительный анализ полученных результатов показывает, что наиболее характерными примесями кварца первой разновидности являются элементы, сопутствующие продуктам ранних прерудных стадий минералообразования (олово, бериллий и др.); в кварце второй разновидности постоянно отмечаются элементы, входящие в состав основных минералов сульфидных руд (свинец, цинк, медь, железо, серебро, мышьяк и сурьма). Поздние разновидности кварца, как правило, обогащены кальцием. Наряду с перечисленными элементами в составе всех разновидностей кварца спорадически встречаются: алюминий, калий, марганец и магний.

Хлорит принадлежит к числу наиболее характерных, широко распространенных алюмосиликатов. Особенно велика его роль в рудах месторождений центральной части района, большинство которых располагается или непосредственно в гранитоидах (Каменское, Северная Шахта, Файтеловское и др.), или же приурочены к небольшим по величине ксенолитам интенсивно метаморфизованных карбонатных пород, окруженных со всех сторон гранитами (Мыльниковско-Хоркиринское месторождение и др.).

Хлорит распространен во всех без исключения парагенетических ассоциациях. Наиболее крупные скопления хлорита, как уже отмечалось, сосредоточены непосредственно в зальбандах рудных тел, где вмещающие породы нередко бывают превращены в сплошной «войлок» зеленого тонкочешуйчатого хлорита. В участках, сложенных массивными сульфидными рудами, хлорит, естественно, развит в значительно меньших количествах. Характер его выделений самый разнообразный: беспорядочно ориентированные чешуйки, размером в сотые и десятые доли миллиметра, агрегаты, радиальнолучистого и чешуйчатого строения, пучки, розетки, прожилки и т. д. В тесной ассоциации с хлоритом развиты кварц, серицит, карбонаты, пирит, арсенипирит, сфалерит, галенит, буланжерит и другие сульфидные минералы. При этом хлорит в одних случаях структурно подчиняет выделения названных минералов, в других — сам приспособливает

ется к границам срастания зерен этих минералов, в третьих — образует с ними сложные взаимопорастания (см. фиг. 14). Все это свидетельствует о близком времени их образования.

Судя по оптической характеристике, в рудах различных месторождений района присутствуют несколько разновидностей хлоритов.

В месторождениях, залегающих в доломитах (Кличкинское, Мыльниковско-Хоркиринское и др.), хлориты, как правило, характеризуются темно-зеленым цветом, в проходящем свете имеют светло-зеленую окраску и плеохроируют от зеленого по Nm и Np до светло-зеленого или бесцветного по Ng ; оптически положительны. Колебания показателей преломления (4 замера): $Ng = 1,595-1,602$, среднее — 1,598; $Np = 1,591-1,597$, среднее — 1,594; $Ng - Np = 0,004$; угол $2V$ очень малый. Интерференционная окраска аномальная, фиолетового цвета. Согласно Д. М. Шилину и В. П. Иванову, по оптическим свойствам данные хлориты могут быть отнесены к магнезиальной группе. Об этом также свидетельствуют результаты химического анализа хлорита из руд Кличкинского месторождения, приводимого в работе С. С. Смирнова (табл. 44).

Таблица 44

Результаты полного химического анализа хлорита из руд Кличкинского месторождения (по данным С. С. Смирнова, 1965)*

SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	F	B ₂ O ₃	П. п. и.	Гигроскопическая вода	Сумма без поправки	Поправка на F	Сумма с поправками
31,0	Сл.	18,86	0,67	11,21	1,12	0,22	23,51	1,30	Нет	1,30	Нет	10,44	0,24	100,37	0,54	99,83

* Анализированный хлорит был несколько загрязнен серицитом и флюоритом.

Иными оптическими свойствами обладают хлориты руд месторождений, залегающих в кремнистых известково-глинистых сланцах и гранитах (Савинское № 5, Почкуевское и Каменское месторождения). Хлориты этих месторождений в проходящем свете имеют светло-зеленую окраску и плеохроируют от светло-зеленого по Nm и Np до почти бесцветного по Ng . Показатели преломления колеблются (5 размеров): $Ng = 1,621-1,635$; $Np = 1,616-1,630$; $Ng - Np = 0,005$; угол $2V$ очень малый. Интерференционная окраска в скрещенных николях аномальна, грязно-желтовато-зеленая. Оптическая характеристика данных хлоритов позволяет отнести их к железисто-магнезиальной группе.

Химическими анализами в хлоритах всех месторождений района фиксируется присутствие галлия (0,001—0,005%). Кроме

того, многочисленными спектральными анализами в хлоритах постоянно обнаруживаются марганец, титан, кальций и ванадий (десятые и сотые доли процента) цинк, медь, свинец (тысячные и десятитысячные доли процента) и редко цирконий, стронций, барий и олово.

Серицит — широко распространенный минерал, в количественном отношении несколько уступающий хлориту. Основная масса серицита заключена в рудах месторождений, залегающих в гранитоидах (Каменском, Северной Шахте, Файтеловском и др.); в значительно меньших количествах он встречается в рудах месторождений, приуроченных к карбонатным породам и сланцам (Кличкинском, Савинском № 5, Почекуевском и др.).

Подобно хлориту, серицит тесно ассоциирует с минералами колчеданной и полиметаллической стадий минерализации (кварцем, карбонатом, хлоритом и сульфидами).

Довольно часто отмечается переход серицита в мелкочешуйчатый мусковит, характеризующийся следующими оптическими константами: $N_g = 1,585-1,587$; $N_m = 1,583$; $N_p = 1,552$; угол $2V = -45^\circ$.

По условиям накопления, характеру выделений и структурным взаимоотношениям с сульфидами серицит (и мелкочешуйчатый мусковит) идентичен хлориту.

Химическими анализами в серицитах всех изученных месторождений постоянно отмечается наличие таллия и галлия (0,001—0,004%). Полуколичественным спектральным анализом установлено присутствие магния, кальция и железа (десятые и сотые доли процента); марганца, титана и стронция (сотые и тысячные доли процента); спорадически встречаются ванадий, свинец, цинк, медь, олово, барий, мышьяк и сурьма.

Карбонаты (кальцит, мангансидерит, доломит, анкерит) распространены широко, но крупных обособлений обычно не образуют. Наибольшие количества этих минералов устанавливаются, как правило, в месторождениях, приуроченных к карбонатным породам и известковистым сланцам.

Карбонаты отмечаются одинаково часто как во вмещающих породах, так и в рудах. Форма выделений самая разнообразная: агрегативные скопления, обособленные кристаллы и т. д.; размер зерен в агрегатах колеблется от долей миллиметра до 1 см.

Наличие карбонатов в различных минеральных ассоциациях свидетельствует о том, что образование их происходило в течение всего процесса минерализации. Нами различаются три основные разновидности: 1) карбонаты, образовавшиеся под воздействием ранних прерудных процессов пневматолитово-гидротермального изменения; 2) карбонаты, отложенные близко во времени с сульфидами в процессе рудообразования; 3) карбонаты, кристаллизовавшиеся в заключительную пострудную стадию минерализации совместно с флюоритом и цеолитами.

В продуктах ранних предрудных стадий в составе карбонатных минералов преобладают мангансидерит и доломит. В процессе сульфидного минералообразования среди карбонатов ведущая роль принадлежит кальциту и анкериту. В поздних пострудных образованиях резко преобладает кальцит.

Проведенный нами спектральный анализ карбонатов показывает, что наряду с основными компонентами (кальций, магний, железо) в их составе постоянно отмечается примесь марганца и стронция, спорадически встречаются кремний, алюминий, титан, редкие земли, ванадий, свинец, цинк и медь.

Флюорит в том или ином количестве выявляется в рудах большинства месторождений района. Наиболее крупные скопления этого минерала отмечаются в Кличкинском, Савинском № 5, Почекуевском и Каменском месторождениях. Флюорит развит в виде сплошных зернистых масс и отдельных зерен, размер которых варьирует от долей миллиметра до 1 см и более.

По времени образования отчетливо различаются две разновидности флюорита.

Первая разновидность флюорита тесно ассоциирует с кварцем, мусковитом, топазом и аксессуарными: берtrandитом, эвклазом, фенакитом, бавенитом, бериллом; она развита в составе ранних предрудных метасоматических образований — грейзенах, слюдисто-флюоритовых и других породах.

Вторая разновидность флюорита (количественно резко преобладающая) образовалась в заключительную «пострудную» стадию минералообразования, в ассоциации с кварцем. Реже и в значительно меньших количествах флюорит II отмечается также в ассоциации с кальцитом и цеолитом. Крупные агрегативные скопления позднего флюорита в ряде случаев могут представлять практический интерес (Кличкинское, Савинское № 5, Почекуевское и другие месторождения).

Как следует из результатов химического и спектрального анализов, характерными примесями первой разновидности флюорита являются бериллий, олово, редкие земли, алюминий, кремний, магний, стронций, марганец, калий; спорадически отмечается присутствие лития и молибдена.

В образцах флюорита второй разновидности в виде примесей встречаются кремний, магний, марганец и стронций.

Мусковит и флогопит — типоморфные минералы исследуемых руд. Мусковит свойствен месторождениям, залегающим в гранитах или на контакте с ними (Каменское, Файтеловское, Дмитриевское, Чупинское и др.); флогопит более характерен для месторождений, приуроченных к доломитам и скарнированным породам (Мыльниковско-Хоркиринское и др.). Оба минерала встречаются, как правило, в небольших количествах и тесно ассоциируют с кварцем, флюоритом, аксинитом, турмалином и другими минералами грейзеновской стадии минерализации. Форма выделе-

ний — мелкие пластинки, размером в несколько миллиметров и сплошные листовато-зернистые и чешуйчатые массы. Оптические свойства минералов обычны.

В составе мусковита и флогопита химическими анализами установлены галлий и галлий (тысячные доли процента). В мусковите, кроме того, были обнаружены ниобий и тантал (тысячные доли процента). В качестве других элементов-примесей спектральными анализами в мусковите зафиксированы: бериллий, олово, ванадий, стронций и барий (тысячные и сотые доли процента), титан, литий и редкие земли (сотые и десятые доли процента). Спорадически отмечаются вольфрам и молибден (тысячные и сотые доли процента). Аналогичные примеси установлены также и во флогопите.

Среди изучавшихся образцов флогопита и мусковита отмечались случаи аномальных значений угла $2V$ (менее 10°) и при этом спектральными анализами фиксировались высокие содержания железа, а также лития (0,5% и выше). В связи с этим не исключена возможность присутствия в рудах литиевой слюды (типа литиевого биотита).

Эпидот — типоморфный минерал мышьяковых и серноколчеданных руд Савинского № 5, Почекуевского и Чупинского месторождений. Встречается обычно в небольшом количестве, в виде мелких таблитчатой формы кристаллов, тесно ассоциирующих с кварцем, серицитом, арсенопиритом, пиритом и другими минералами колчеданной стадии. Окрашенность выделений эпидота в слабые зеленовато-желтые тона свидетельствует о значительном содержании в нем железа. Остальные свойства обычны.

Актинолит и тремолит так же, как и эпидот, встречаются в небольшом количестве в составе колчеданных руд Савинского № 5, Почекуевского и Чупинского месторождений. Оба минерала образуют весьма тонкозернистые агрегаты, что позволяет определить только средний показатель преломления (1,62—1,64).

Турмалин в небольших количествах, чаще как второстепенная примесь, встречается во многих месторождениях района. Особенно характерен этот минерал для Мыльниковско-Хоркиринского, Кличкинского, Савинского № 5, Дмитриевского и Чупинского месторождений.

Турмалин встречается в агрегативных скоплениях, реже в обособленных кристаллах. Облик кристаллов весьма своеобразен. Чаще всего это мелкие иголки длиной от десятых долей миллиметра до долей сантиметра при поперечном сечении в тысячные и сотые доли миллиметра. Цвет черный, бурый, зеленый и бесцветный.

Темноокрашенные разности турмалина, как правило, ассоциируют с кварцем, мусковитом, топазом и другими минералами грейзеновых образований. Они характеризуются бутылочно-синими цветами плеохроизма и красными цветами интерференции. Сог-

ласно А. Н. Винчелл и Г. Винчелл (1949), описываемый характер плеохроизма свойствен железо-магнезиальным турмалинам.

Более светлые разновидности турмалина ассоциируют с кварцем, серицитом, арсенопиритом, пирротином и пиритом (кварц-пирит-арсенопиритовая и пирит-халькопирит-пирротиновая ассоциации). Судя по бледным зеленовато-желтым тонам плеохроизма, эта разновидность близка к маложелезистым дравитам.

Первая разновидность турмалина пользуется в изученных рудах наибольшим распространением. Согласно результатам спектральных анализов в турмалинах первой разновидности наряду с основными компонентами постоянно отмечается примесь железа, магния и титана (десятые доли процента), ванадия и марганца (десятые и сотые доли процента), галлия, бериллия и олова (тысячные и сотые доли процента), спорадически встречаются кальций, калий, натрий, скандий, редкие земли, литий и хром.

К сожалению, вторая разновидность турмалина из-за трудности отбора мономинеральных проб проанализирована не была.

Ильменит, рутил, сфен, апатит, циркон, графит. Все перечисленные минералы в качестве аксессуарных широко распространены в околорудных измененных породах (альбититах, грейзенах, березитах и др.), а некоторые из них (рутил, графит) нередко встречаются и в составе самого рудного агрегата, являясь здесь, скорее всего, продуктом полной переработки рудоносным раствором включений боковых пород. Наблюдения под микроскопом показывают, что графит и рутил отлагались на всем протяжении сульфидного минералообразования, сопровождая кристаллизацию всех основных рудных минералов (пирита, арсенопирита, пирротина, сфалерита, галенита, буланжерита и др.).

Аксинит установлен в рудах Савинского № 5 и глубоких горизонтах Почекуевского месторождений. Единичные находки аксинита известны также в Кличкинском, Мыльниково-Хоркиринском, Каменском, Чупинском и других месторождениях и рудопроявлениях района. Форма выделений аксинита самая разнообразная: крапленность, массивные агрегаты. Ассоциирующие минералы: карц, флогопит, мусковит, карбонат, касситерит, топаз, аксессуарный берилл, шеедит. В рудах месторождения Савинского

Таблица 45

Результат полного химического анализа аксинита из руд месторождения Савинского № 5

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MgO	MnO	CaO	B ₂ O ₃	H ₂ O+	П. п. п.	Σ
41,56	17,98	0,10	4,92	1,32	6,45	19,80	6,8	1,58	—	100,51

Примечание. Анализ выполнен в химической лаборатории ВСЕГЕИ (Талдыкина, 1962).

№ 5 аксинит представлен, как правило, уплощенными, клиновидного облика кристаллами, размером до 2 см. Измерение оптических констант минерала, проведенное К. С. Талдыкиной (1962), дало следующие результаты: $N_g = 1,689 \pm 0,001$; $N_p = 1,675 \pm 0,001$; $N_g - N_p = 0,014$; угол $2V = 74 \pm 2^\circ$.

Результаты химического анализа аксинита месторождения Савинского № 5 приведены в табл. 45.

Как следует из результатов химического анализа, аксинит месторождения Савинского № 5 значительно обогащен марганцем. Частными химическими определениями в аксините обнаружена постоянная примесь галлия (0,0025%); спорадически в акцессорных количествах отмечаются ниобий и тантал.

Спектральный анализ аксинита показал присутствие, кроме основных компонентов, следующих элементов: бериллия, галлия, олова, вольфрама, редких земель, ванадия, титана, циркония, молибдена, меди, цинка, свинца и стронция.

Полевые шпаты (альбит, микроклин, адуляр) встречаются в исследуемых рудах довольно часто. Особенно широко названные минералы развиты в месторождениях, залегающих или непосредственно в гранитоидах (Каменском, Северной Шахте, Файтеловском и Дмитриевском), или на контакте с ними (Мыльниковско-Хоркиринском, Кличкинском и др.).

Полевые шпаты встречаются в виде сплошных, агрегативных скоплений и вкрапленников. Размер зерен колеблется от долей миллиметра до 1—3 см.

По времени образования среди полевых шпатов выделяются три разновидности.

1. Альбит и микроклин, образовавшиеся в наиболее раннюю прерудную стадию гидротермального изменения околожильных пород (полевошпатовая стадия). Полевые шпаты этой стадии встречаются наиболее часто и в большом количестве (Каменское, Мыльниковско-Хоркиринское, Северная Шахта, Дмитриевское, Файтеловское, Кличкинское месторождения и др.).

2. Альбит и кальцевый полевой шпат, кристаллизовавшиеся близко во времени с сульфидными минералами. Данная разновидность наблюдалась в месторождениях Каменское и Северная Шахта.

3. Альбит и адуляр, отложенные в ассоциации с кварцем, кальцитом и флюоритом в заключительную пострудную стадию минералообразования. Рассматриваемая разновидность широко развита в рудах Каменского месторождения.

Оптические свойства и морфология полевых шпатов обычны и подробно охарактеризованы в работах В. В. Архангельской (1959, 1963).

Частными химическими анализами в микроклинце Мыльниковско-Хоркиринского месторождения обнаружены галлий, тантал, ниобий и тантал (тысячные доли процента); в альбите Каменского

месторождения установлен только галлий (тысячные доли процента). Спектральные анализы спорадически фиксируют присутствие в полевых шпатах бериллия, лития, олова, ванадия, титана, циркония, стронция, марганца, свинца, цинка, меди, серебра, молибдена, магния и кальция.

Цеолиты встречаются в исследуемых рудах довольно часто. Особенно широкое развитие цеолиты получили в Каменском и Савинском № 5 месторождениях, где они наблюдаются в трещинах и пустотах в сопровождении позднего кальцита. В ассоциации с цеолитами иногда отмечаются каолинит, хлорит, флюорит, пирит и марказит. Для Каменского месторождения обычен десмин: $N_g = 1,504$; $N_m = 1,495$; $N_p = 1,488$; угол $2V = 31^\circ$ (Архангельская, 1963).

В рудах месторождения Савинского № 5 развит стеллерит, определенный К. С. Талдыкиной (1962) на основании оптических свойств ($N_g = 1,495 \pm 0,001$; $N_p = 1,486 \pm 0,001$; $N_g - N_p = 0,009$, угол $2V = -44^\circ$) и результатов полного химического анализа (табл. 46).

Таблица 46

Результаты полного химического анализа стеллерита из руд месторождения Савинского № 5 (по данным К. С. Талдыкиной, 1962)

Количество проб	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	H ₂ O	Σ
Среднее из двух проб	57,59	15,08	8,80	—	18,84	100,31

Наряду с основными компонентами в цеолитах Савинского № 5 и Каменского месторождений спектральными анализами установлены: галлий, медь, титан, свинец, стронций, марганец, магний.

Каолинит. Гипогенный каолинит установлен и доказан В. В. Архангельской в рудах Каменского месторождения, где он наблюдается в ассоциации с цеолитами в составе самых поздних пострудных минеральных образований.

Согласно данным спектрального анализа в составе каолинита наряду с основными компонентами постоянно обнаруживается примесь магния, железа, марганца, ванадия и стронция; значительно реже отмечается присутствие свинца, цинка, меди, галлия и бария.

Берилл, берtrandит, фенакит, эвклаз, бавенит, топаз и селлант встречаются в аксессуарных количествах и в своем распространении тесно связаны с продуктами наиболее ранних высокотемпературных процессов пневматолитово-гидротермального прудрудного изменения.

Так, берилл и топаз наиболее характерны для грейзенизированных (кварц-мусковит-флюоритовых) разностей гранитов; берtrandит, фенацит, эвклаз, бавенит и селлаит чаще встречаются в слюдисто-флюоритовых образованиях, развитых по контакту карбонатных пород и грейзенизированных гранитов. Наличие перечисленных минералов в исследуемых рудах подтверждено данными рентгенометрических, оптических и химических исследований, определениями микротвердости и удельных весов (Смирнов, 1955; Архангельская, 1959; Комарова, 1965; Гетманская и Новикова, 1966; наши исследования).

Барит — редкий минерал, установлен С. С. Смирновым (1965) в виде отдельных мелких зерен в шлифах Кличкинского месторождения.

Датолит — акцессорный минерал, обнаружен в отвалах месторождения Савинского № 5 в виде плохо образованных округлой формы кристалликов, размером в десятые доли сантиметра, выполняющих пустотку в аксинитизированном сланце. Оптические константы минерала следующие: $N_g = 1,670 \pm 0,001$; $N_m = 1,654 \pm 0,001$; $N_p = 1,625$; угол $2V = -74^\circ$.

Плеонаст (Mg, Fe) Al_2O_4 — редкий акцессорный минерал, обнаружен в рудах Дмитриевского рудопроявления. Здесь он встречается в виде вкрапленности отдельных кристаллов в гидротермально измененных гранитах (березитах) в ассоциации с ганитом, пиритом, кварцем, серицитом и хлоритом. Кристаллы мелкие (десятые доли миллиметра) и имеют округлый изометричный облик. Цвет меняется от бесцветного (в тонких сколах) до темно-бурого; блеск — стеклянный.

Удельный вес, определенный методом непосредственного измерения объема и веса минерала из микронавески, равен 3,8 (среднее из трех замеров). Минерал электромагнитен, оптически изотропен, показатель преломления, определенный в фосфорных им-

Таблица 47

Результаты расчета рентгенограммы плеонаста

<i>l</i>	2	3	4	8	10	1,5	2	1	4	6	7	1
<i>d</i>	4,33	3,63	3,36	2,88	2,44	2,02	1,86	1,82	1,65	1,56	1,427	1,371
<i>l</i>	2,5	3	3	4	2	3	3,5	3	4	3	1,5	
<i>d</i>	1,275	1,232	1,082	1,052	1,012	0,954	0,931	0,848	0,826	0,793	0,792	

$a = 8,083 \pm 0,001$. Условия съемки: λ —Cu—Ni, камера РКД, $2R = 57,3$ мм. Аналитик Н. М. Климович, ИМГРЭ.

мерсионных жидкостях, равен $1,779 \pm 0,003$. Данные рентгеноструктурного анализа приведены в табл. 47.

Весьма небольшое количество этого минерала, выделенного с помощью бромформа, не позволило сделать его химический анализ. Спектроскопические исследования показывают, что главными компонентами минерала являются алюминий, железо и магний. Кроме того, в составе минерала устанавливается цинк (десятые доли процента), а также марганец, кальций, бериллий, галлий, свинец, медь, серебро, стронций и цирконий (сотые, тысячные и десятитысячные доли процента).

Состав и изученные свойства минерала позволяют принять его за плеонаст.

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ И ПОВЕДЕНИЯ РЕДКИХ ЭЛЕМЕНТОВ И ЭЛЕМЕНТОВ-ПРИМЕСЕЙ В РУДАХ СВИНЦОВО-ЦИНКОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КЛИЧКИНСКОГО РАЙОНА

Руды полиметаллических месторождений Кличкинского района, как уже отмечалось выше, наряду с основными компонентами (свинцом и цинком) содержат целую серию редких элементов и элементов-примесей. Поскольку в предыдущих разделах, посвященных описанию месторождений и характеристике минеральных ассоциаций и рудообразующих минералов, приводились основные данные о их распространении и формах нахождения, ниже будут проанализированы условия накопления в процессе рудообразования не всех элементов, входящих в состав руд, а лишь отдельных наиболее детально изученных и типичных для полиметаллических руд редких элементов: кадмия, индия, таллия, галлия, селена и теллура. Кроме того, с меньшей детальностью будет охарактеризовано поведение висмута, серебра, олова, мышьяка и сурьмы, а также бериллия, лития, ниобия, тантала и редких земель.

Кадмий

Кадмий следует отнести к числу наиболее важных элементов-примесей руд месторождений Кличкинского района. Основным минералом-носителем кадмия является сфалерит, и лишь незначительная его часть входит в состав галенита, халькопирита и буланжерита (до 0,005%). В других сульфидных минералах (пирите, арсенопирите, пирротине) кадмий встречается исключительно редко и в весьма низких концентрациях (табл. 48).

В ранних железистых сфалеритах, представляющих основную массу цинковых руд, концентрация кадмия колеблется в пределах от 0,2 до 0,5%. Наиболее высокие его содержания (0,5—1,8%) устанавливаются в поздних маложелезистых разновидностях цинковых обманок. При этом содержание кадмия в сфалеритах

Распределение кадмия в сульфидах колчеданной и полиметаллической стадии минерализации

Стадия минералообразования	Минеральная ассоциация	Главные минералы-носители	Количество проб		Содержание кадмия, %	
			на спектральный анализ	на химический анализ	максимальное	обычное
Колчеданная	Кварц-пирит-арсенопиритовая	Пирит	3	—	Не обн.	Не обн.
		арсенопирит	22	—	0,005	Не обн.—0,005
	Пирит-халькопирит-пирротиновая	Пирит	29	—	0,02	Не обн.—0,035
		пирротин	8	—	Не обн.	Не обн.
Полиметаллическая	Существенно сфалеритовая	халькопирит	10	—	0,005	0,005
		Сфалерит	173	50	0,5	0,2—0,5
	Существенно галенитовая	Галенит	132	6	0,007	0,002—0,003
		сфалерит	24	6	0,8	0,5—0,8
	Сульфоантимонитовая	халькопирит	5	—	0,005	0,005
		Буланжерит	21	2	0,0015	Не обн.
галенит	10	—	0,005	0,002—0,003		

одной генерации в пределах месторождения удивительно постоянно. Наблюдаемые колебания, как правило, не выходят за рамки допускаемой точности аналитического метода. Это особенно наглядно видно на примере таких месторождений, как Савинское № 5, Кличкинское, Мыльниковско-Хоркиринское, в которых благодаря широкой сети горных выработок представилось возможным произвести опробование рудных тел на значительном расстоянии как по простиранию, так и по падению.

Необходимо подчеркнуть, что наряду с отмеченным постоянством состава сфалеритов в пределах отдельных месторождений, в целом для района сфалериты характеризуются весьма значительными изменениями как основного компонента, так и элементов-примесей. Сфалериты, отобранные из руд различных месторождений, существенно отличаются друг от друга по содержанию цинка (от 43 до 63%) и железа (от 1,6 до 14,3%), а также нахождением в них примесей кадмия (от 0,1 до 0,79%) и других редких элементов. Отношение содержания цинка к содержанию кадмия в ранних сфалеритах составляет для месторождения Савинского № 5 323—342, для Мелентьевского 150, а для Мыльниковско-Хоркиринского 147. Эти отношения в поздних сфалеритах для указанных месторождений соответственно равны 140, 120 и 93. Изменение отношений Zn : Cd, установленное для разновозрастных сфалеритов месторождения Савинского № 5, хорошо согласуется также с результатами анализов различных типов руд этого месторождения. В существенно сфалеритовых рудах, в основном представленных сфалеритом первой генерации, отношение Zn : Cd составляет 400—

600, в галенитовых рудах, с которыми ассоциируют поздние цинковые обманки, оно равно 120—170, а в смешанных рудах, где присутствуют обе генерации сфалерита, отношение $Zn : Cd$ составляет 160—300¹.

Закономерное уменьшение отношений $Zn : Cd$ от ранних к поздним цинковым обманкам несомненно свидетельствует о накоплении кадмия к концу процесса минералообразования. С другой стороны, проведенное сравнительное изучение сфалеритов, отобранных из руд различных месторождений района, показало, что наиболее высокие концентрации кадмия в этом минерале (как в ранних, так и в поздних его разновидностях) свойственны маложелезистым цинковым обманкам из руд месторождений, залегающих в карбонатных породах (Кличкинском, Мелентьевском и др.); богатые железом сфалериты из месторождений, расположенных в гранитоидах (Каменском, Северная Шахта), значительно менее кадмиеносны и, наконец, минимальные количества кадмия отмечаются в марматитах Савинского № 5, Почекуевского и Чупинского месторождений, рудные тела которых залегают в сланцевых толщах. Представление об изменении концентраций кадмия в сфалеритах в зависимости от состава вмещающих пород, а также количественные взаимоотношения цинка, железа и кадмия в сфалеритах различных генераций дает график (фиг. 28).

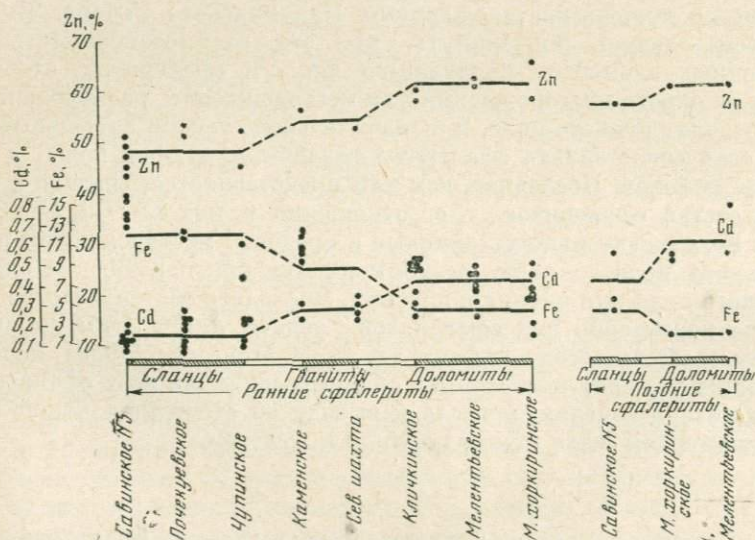
Рассмотрение аналитических материалов, приведенных в некоторых работах по другим рудным районам Советского Союза (Вейц, 1957; Моисеева, 1959; Бадалов, 1959, и др.), позволяет говорить, что подобные соотношения кадмия с железом и цинком присущи не только месторождениям Кличкинского района. Вместе с тем следует подчеркнуть, что эта взаимозависимость отмеченных элементов проявляется лишь в сфалеритах, отобранных из одного месторождения или месторождений, расположенных в пределах рудного поля, и в значительной степени затушевывается, если сопоставлять сфалериты различных рудных полей и тем более районов. Последнее, как нам представляется, связано с тем, что состав сфалеритов, т. е. отношения в них $Zn : Cd$, $Fe : Cd$ и $Zn : Fe$, относительно устойчивые в пределах месторождения и отдельного рудного поля, резко меняются при переходе от одного рудного поля или района к другому. Последнее обстоятельство особенно характерно для сфалеритов Средней Азии. Этим, по-видимому, и объясняется тот факт, что М. И. Моисеева (1959), использовавшая в своих построениях общий график для всех сфалеритов Кармазара в целом, пришла к выводу об отсутствии какой-либо закономерной связи между кадмием и железом.

¹ Содержанием кадмия в галените и халькопирите и других сульфидах в данном случае можно пренебречь.

Индий

При общей относительно высокой индиенности руд нерчинских месторождений руды Кличкинского района заметно обеднены этим элементом. В исследуемых рудах индий в основном концентрируется в ранних сфалеритах (тысячные, сотые и десятки доли процента) и значительно реже — в халькопиритах (тысячные и сотые доли процента) (табл. 49). В более позднем свинцовом парагенезисе незначительные количества индия накапливаются в светлоокрашенных разновидностях сфалерита и весьма редко отмечаются в галенитах и ассоциирующем с ними халькопирите. В буланжеритах индий встречается только в рудах Почекуевского месторождения, где его содержание, как правило, не превышает 0,001%. По данным Н. Н. Бурлуцкой и Б. П. Санина, следы индия отмечаются также и в пирите.

Сравнительное изучение сфалеритов, отобранных из руд различных месторождений района, показало отсутствие какой-либо закономерной связи между изменением в этом минерале содержания индия в зависимости от изменения содержания цинка и железа (фиг. 28). Известный вывод о том, что ранние железистые сфалериты обогащены индием по сравнению с поздними маложелезистыми разновидностями, на нашем материале подтверждается лишь частично. Действительно, все ранние сфалериты характеризуются более высокими содержаниями индия по сравнению с поздними сфалеритами, но содержание железа в них не оказывает при этом сколько-нибудь существенного влияния.



Фиг. 28. Изменение концентраций кадмия в сфалерите в зависимости от состава вмещающих пород и количественных соотношений в нем цинка и железа

Распределение индия в сульфидах колчеданной и полиметаллической стадий минерализации

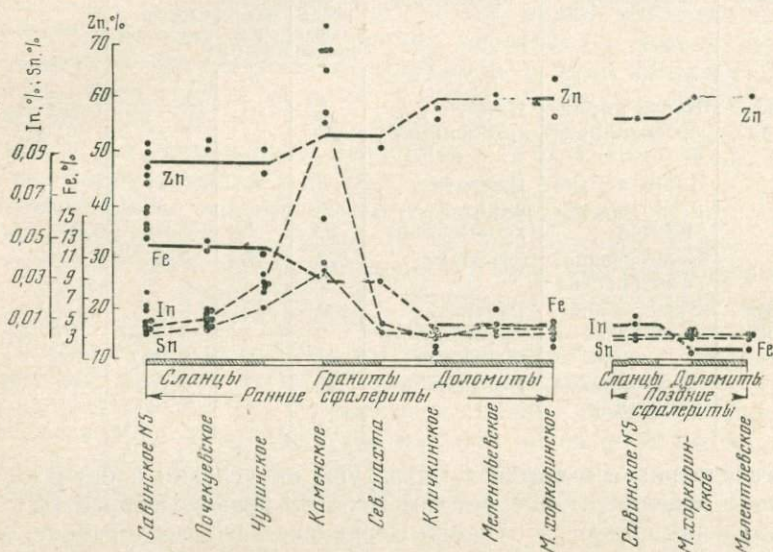
Стадия минералообразования	Минеральная ассоциация	Главные минералы-носители	Количество проб		Содержание индия, %	
			на спектро-анализ	на химический анализ	максимальное	обычное
Колчеданная	Кварц-пирит-арсенопиритовая	Пирит . . .	3	—	Не обн.	Не обн.
		арсенопирит .	22	—	»	»
	Пирит-халькопирит-пирротиновая	Пирротин . .	8	—	»	»
		халькопирит .	29	—	»	»
Полиметаллическая	Существенно сфалеритовая	сфалерит . .	10	5	0,01	0,005
		Сфалерит . .	173	40	0,1	0,0005—0,01
	Существенно галенитовая	Галенит . . .	132	12	0,002	Не обн.—0,0003
		халькопирит .	5	3	0,0005	Не обн.
		сфалерит . .	24	8	0,003	0,002
Сульфоантимонитовая	Буланжерит .	21	7	0,001	Не обн.	

Рассматривая влияния температуры на условия концентрации индия в сфалеритах, следует заметить, что близкие по времени кристаллизации цинковые обманки Нерчинско-Заводского района, согласно исследованиям К. Ф. Кузнецова (1959), хотя и являются низкотемпературными образованиями, но содержат значительно более высокие концентрации индия (до 0,5%). Таким образом, температура образования сфалеритов не может считаться определяющим фактором в распределении концентрации индия в этом минерале. К такому же выводу пришел К. Ф. Кузнецов на основании изучения содержания индия в сфалеритах месторождений Нерчинско-Заводского района.

С другой стороны, нами получены данные, которые подтверждают сделанный еще в 1953 г. Н. М. Прокопенко, К. А. Боровиком, Н. И. Влодавцем и Н. В. Лизуновым и позднее В. В. Ивановым и В. Ю. Волгиным (1958) и К. Ф. Кузнецовым (1959) вывод о преимущественном накоплении индия в сфалеритах, обогащенных оловом (фиг. 29).

Проведенные систематические исследования показывают, что для сфалеритов месторождений, обедненных индием и оловом, весьма характерно постоянство концентраций этих элементов в пределах всего рудного контура месторождений (Савинское № 5 и др.). Несколько иная картина наблюдается в месторождениях, характеризующихся относительно повышенными содержаниями обоих элементов (в Каменском, Почекуевском и Чупинском). Здесь

концентрации индия и олова в сфалеритах одной генерации (часто отобранных из одного участка рудного тела, не говоря уже о пробах, взятых с более удаленных друг от друга интервалах) меняются в десять и большее число раз. Так, содержание индия в сфалеритах Каменского месторождения по данным спектрального анализа колеблется от 0,005 до 0,1%, а олова — от 0,005 до 0,05%.



Фиг. 29. Количественные соотношения индия, олова, цинка и железа в сфалеритах различных месторождений Кличкинского района

В сфалеритах Чупинского месторождения содержание индия меняется от 0,001 до 0,07%, а олова — от 0,005 до 0,05% и, наконец, концентрация индия и олова в цинковых обманках Почечуевского месторождения колеблется в пределах от 0,001 до 0,01%.

Таблица 50

Содержание индия и олова в булахжертах (в %)

Месторождение	Полярнографический анализ	Спектральный анализ
	In	Sn
Савинское № 5	Не обн. 2	0,01—0,04 15
Почечуевское	0,001 5	0,1—0,20 6

Содержание индия и олова в галенитах (в %)

Месторождение	Полярографический анализ *	Спектральный анализ**
	In	Sn
Каменское	$\frac{0,0003-0,00034}{3^{***}}$	$\frac{0,01-0,03}{14}$
Чушинское	$\frac{0,001-0,002}{2}$	$\frac{0,01-0,03}{8}$
Почекуевское	$\frac{\text{Не обн.}-0,0001}{2}$	$\frac{0,01}{8}$
Савинское № 5	$\frac{0,0002}{1}$	$\frac{0,005-0,03}{31}$
Кличкинское	$\frac{\text{Не обн.}-0,0004}{2}$	$\frac{0,005-0,03}{16}$
Северная Шахта	$\frac{\text{Не обн.}}{1}$	$\frac{0,001-0,005}{14}$
Мыльниковско-Хоркиринское	$\frac{\text{Не обн.}}{1}$	$\frac{\text{Не обн.}}{11}$

* Чувствительность полярографического метода определения индия 5·10⁻⁴% при навеске 1,0 г.

** Чувствительность спектрального анализа 1·10⁻³%.

*** В знаменателе—количество проб.

Индий в буланжеритах систематически отмечается лишь в относительно обогащенных оловом образцах из Почекуевского месторождения и ни разу не был установлен в менее оловоносных буланжеритах месторождения Савинского № 5 (табл. 50). Подобная же корреляция содержаний индия и олова в минерале отмечена для галенита и халькопирита (табл. 51, 52).

Таблица 52

Содержание индия и олова в халькопиритах (в %)

Месторождение	Полярографический анализ	Спектральный анализ
	In	Sn
Савинское № 5	$\frac{0,002-0,01}{5}$	$\frac{0,01-0,03}{10}$
Мыльниковско-Хоркиринское	$\frac{\text{Не обн.}-0,0005}{3}$	$\frac{0,001-0,005}{5}$

Галлий

В исследуемых рудах галлий имеет чрезвычайно широкое распространение. Однако содержание его в рядовой полиметаллической руде, как правило, не превышает 0,001—0,005 %.

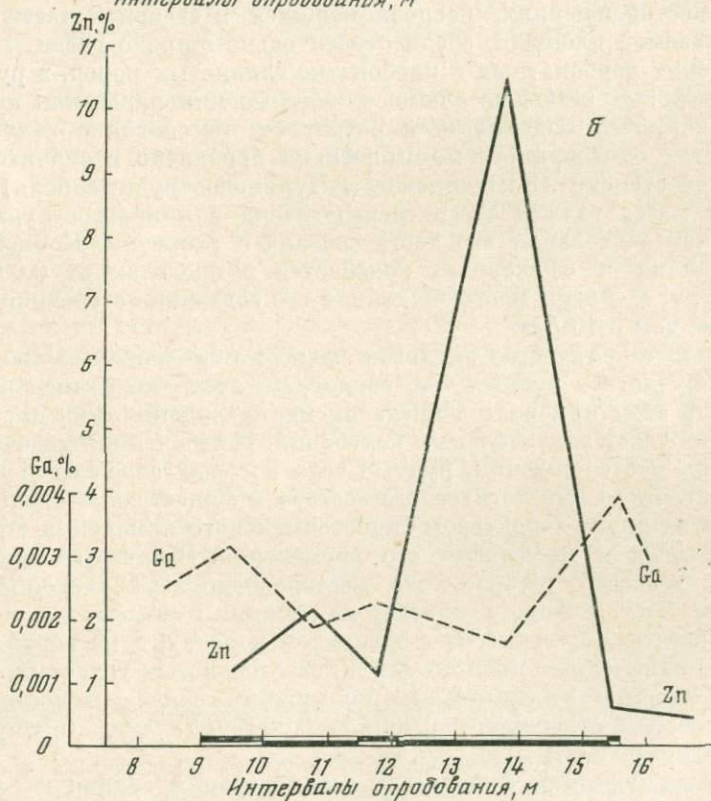
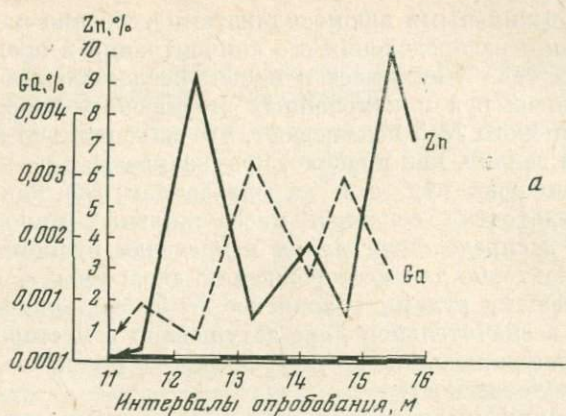
На ранних стадиях гидротермального процесса (в полевошпатовую и грейзеновую стадию) галлий ведет себя как типичный литофильный элемент и благодаря геохимическому сродству с алюминием накапливается в алюмосиликатах: калиевом полевошпате, альбите, аксините, турмалине, мусковите, флогопите, сериците и хлорите. Содержание его в этих минералах чаще всего составляет 0,001—0,01 %.

В колчеданную стадию основная масса галлия концентрируется в хлоритах и серицитах (0,001—0,005 %). В сульфидных минералах: пирите, арсенопирите, пирротине — рассматриваемый элемент отсутствует.

Галлий, привносимый в полиметаллическую стадию, претерпевает, с одной стороны, широкое рассеивание в жильных алюмосиликатах — сериците, хлорите и полевых шпатах в количестве от 0,001 до 0,01 %, а с другой, — концентрируется в сфалеритах (до 0,004 %). В других сульфидных минералах (галените, халькопирите и др.) галлий встречается исключительно редко и практического интереса не представляет. В пострудных образованиях (кварц-флюоритовая и цеолит-кальцитовая ассоциации минералов) галлий ассоциирует с полевыми шпатами, хлоритом, каолинитом и цеолитом. Его концентрация в этих минералах составляет 0,001—0,005 %.

Проведенными исследованиями было установлено, что основная масса галлия в рудах рассматриваемых месторождений сосредоточена в алюмосиликатах, исключительно широко распространенных в рудах месторождений Кличкинского района. Это, по-видимому, и предопределило резкую обедненность сфалеритов района галлием. Его концентрация в сфалеритах большинства месторождений почти всегда меньше кларковых и в среднем составляет десятитысячные и редко тысячные доли процента.

Особенно наглядно рассеивание галлия в алюмосиликатах и резкая обедненность им сфалеритов в месторождениях центральной и юго-восточной части района, залегающих в широком окружении гранитоидных пород (Каменское, Ново-Ивановское и Заурлуонгуевское рудные поля). Здесь концентрация галлия в сфалеритах большей части месторождений выходит за пределы чувствительности химического анализа (0,0001 %), тогда как в ассоциирующих с ними алюмосиликатах (сериците, хлорите и др.), получивших здесь особенно широкое распространение, его концентрация достигает 0,01 %. В этой связи интересно подчеркнуть, что максимально высокие концентрации галлия здесь установлены в богатой глиноземом цинковой шпинели — ганите (0,015 %).



Фиг. 30 Распределение галлия в массивной пирит-сфалерит-галенитовой руде и в измененных боковых породах вкост простирания рудных тел месторождения Савинского № 5 по скв. 516 (а) и 501 (б)

Связь галлия с жильными алюмосиликатами особенно наглядна при рассмотрении распределения его концентраций в пределах отдельных рудных тел. Имеющиеся в нашем распоряжении многочисленные анализы руд и измененных вмещающих пород месторождения Савинского № 5 показывают, что максимально высокие концентрации галлия, как правило, приурочиваются не к участкам богатых цинковых руд, а к их зальбандам, где, как уже отмечалось, сосредоточена основная масса жильных минералов (фиг. 30). Такое распределение галлия в пределах рудного контура особенно характерно для месторождений, сложенных богатыми свинцово-цинковыми рудами (Савинское № 5, Мыльниково-Хоркиринское) и в значительной мере затушевано в месторождениях с прожилково-вкрапленным оруденением (Каменское, Северная Шахта, Файтеловское).

В месторождениях, располагающихся в северной части рассматриваемой площади, среди относительно широко развитых палеозойских карбонатных и карбонатно-глинистых пород, в рудной массе которых жильные алюмосиликатные минералы, как правило, пользуются подчиненным развитием, рассеивание галлия в продуктах околорудного метаморфизма проявлено в значительно меньшей степени (Кличкинское и Чупинское рудные поля). Основная масса галлия здесь сосредоточена в цинковых рудах, и лишь незначительная его часть связана с хлоритом. Концентрация галлия в сфалеритах колеблется в пределах от 0,001 до 0,004%, т. е. в этих месторождениях его содержание увеличивается более чем в 10 раз.

Большое количество анализов сфалеритов, отобранных из различных участков рудных тел, свидетельствует, что концентрация галлия в этом минерале в пределах месторождения, как правило, не испытывает значительных колебаний. Исключение представляют лишь месторождения, рудные тела которых залегают в породах различного литологического состава и существенно отличаются друг от друга характером гидротермального изменения вмещающих пород и масштабом его проявления. В качестве примера можно привести рудные тела месторождения Савинское № 5, большая часть которых залегают на нижних горизонтах в сильно хлоритизированных, богатых аксинитом породах, а на верхних — в менее измененных кремнистых и известковистых углистых сланцах. Сфалериты, отобранные из руд нижних горизонтов месторождения, обычно содержат от 0,0001 до 0,0004% галлия, а в верхних — от 0,0004 — до 0,001%.

Четкая обратная зависимость концентраций галлия в сфалеритах от количества присутствующего в рудах глинозема, что в какой-то степени отражает их обогащенность алюмосиликатами, показана в табл. 53.

Подводя итог изложенному, можно сделать следующий вывод: галлий в условиях широкого распространения в рудах жильных

Зависимость концентраций галлия в сфалеритах от количества присутствующего в руде глинозема

Месторождение	Количество глинозема в рудах, %	Количество галлия в сфалерите, %
Почекуевское	1,99	0,0032
Савинское № 5	5,5	0,0004
Каменское	15,22	Не обн.

Примечание. Содержания глинозема приведены по данным химических анализов технологических проб руды, выполненных в химических лабораториях ИГН АН СССР, ГИНЦВЕТМЕТА, Иркутского горно-металлургического института.

алюмосиликатов, образовавшихся близко во времени с сульфидными минералами, претерпевает значительное рассеивание.

Основными минералами-носителями галлия в рудах месторождений района являются: серицит, хлорит и полевые шпаты. Галлий в сфалеритах, как правило, устанавливается в значительно меньших количествах. При этом наблюдается четкая зависимость концентраций галлия в сфалеритах от относительной обогащенности руд алюмосиликатами, что в свою очередь определяется литологическим составом вмещающих пород. Наибольшее рассеивание галлия наблюдается в месторождениях центральной и юго-восточной части района, залегающих в области широкого развития изверженных пород, руды которых наиболее обогащены жильными минералами (Каменское, Ново-Ивановское и Заурулонгевское рудные поля). Некоторый практический интерес могут представлять лишь руды месторождений Кличкинского и Чупинского рудных полей (Почекуевское, Кличкинское и Чупинское), залегающие в карбонатных и кварцево-графитовых породах, в которых алюмосиликаты значительно менее распространены.

Таллий

Таллий принадлежит к числу второстепенных примесей в исследуемых рудах. Ввиду низких его концентраций, большей частью выходящих за пределы чувствительности спектрального анализа (0,001%), в рудах большинства месторождений таллий отмечается довольно редко.

В ранние стадии гидротермального процесса (полевошпатовую, фрейзеновую) таллий, вследствие ярко выраженных литофильных свойств, широко рассеивается в калийсодержащих алюмосиликатах: калиевом полево шпате, мусковите, флогопите, сериците.

Содержание его в этих минералах, как правило, составляет 0,001—0,002%.

В более поздних стадиях сульфидного минералообразования (колчеданная и полиметаллическая) таллий отличается двойственностью поведения: с одной стороны, он в ассоциации с калием в количестве 0,001—0,003% входит в состав серицитов и полевых шпатов, а с другой, — ведет себя как халькофильный элемент и совместно с сурьмой, серебром, висмутом и кадмием накапливается в свинцовых минералах — галените, буланжерите и джемсоните (до 0,005%). В других сульфидных минералах (пирите, пирротине, сфалерите, халькопирите) таллий встречается исключительно редко и в весьма низких концентрациях (0,0001—0,0003%).

В заключительных стадиях минералообразования таллий систематически отмечается в позднем калиевом полевоом шпате, в количествах, не превышающих 0,001—0,002%.

Многочисленные анализы галенитов, отобранных из различных участков рудных тел, показывают, что концентрация в них таллия в пределах месторождения, как правило, не испытывает существенных колебаний. С другой стороны, галениты, отобранные из руд различных месторождений, залегающих в различной геологической обстановке, довольно существенно отличаются друг от друга концентрациями таллия (от 0,0001 до 0,005%). Проведенными исследованиями было установлено, что концентрация таллия в этом минерале в значительной мере обусловлена степенью обогащенности руд жильными калийсодержащими алюмосиликатами. Так, таллий практически отсутствует в галенитах месторождений Каменского, Ново-Ивановского и Заурулюнгуевского рудных полей. Большинство которых располагается или непосредственно в гранитоидах, или приурочены к небольшим по величине ксенолитам интенсивно метаморфизованных карбонатных пород, окруженных со всех сторон гранитами. Руды этих месторождений характеризуются широким развитием в рудной массе жильных алюмосиликатов, среди которых ведущее положение занимают серицит, хлорит и калиевый полевой шпат.

Анализ галенитов Мыльниковско-Хоркиринского и Файтеловского месторождений показал минимальные для района концентрации таллия (0,0001—0,0002%). С другой стороны, таллий систематически и в довольно повышенных количествах отмечается в сериците (0,001—0,002%) и калиевом полевоом шпате (до 0,0015%), получивших здесь особенно широкое распространение. Следует подчеркнуть, что значительная часть этих минералов, как уже отмечалось, была отложена совместно с сульфидами в полиметаллическую стадию. Интересно отметить, что в рудах Каменского месторождения и рудопроявления Северная Шахта, залегающих в интенсивно альбитизированных породах и характеризующихся относительно меньшим развитием калийсодержащих минералов, концентрация таллия в галенитах возрастает уже до 0,0005%.

Аналогичная картина устанавливается и для галенитов из руд месторождений Заурулюнгуевского рудного поля (Савинского и Мелентьевского), приуроченных к относительно более крупному и менее метаморфизованному ксенолиту карбонатных пород и соответственно характеризующихся относительно меньшей распространенностью в рудной массе жильных алюмосиликатов. Здесь концентрация таллия в галените составляет уже 0,0005—0,0008%. В целом же широкая распространенность калийсодержащих жильных минералов и их относительно высокая таллийность по сравнению с галенитами дает право утверждать, что в рассматриваемых месторождениях, расположенных в центральной и юго-восточной части района, основная масса таллия сосредоточена в составе жильных минералов руд. Это находит подтверждение и в результатах опробования руд Мыльниковско-Хоркиринского, Каменского, Савинского и других месторождений, из которых ясно видно, что наиболее высокие концентрации таллия здесь приурочены не к скоплениям богатых свинцовых руд, а к их зальбандам, где, как уже отмечалось, сосредоточена основная масса жильных минералов.

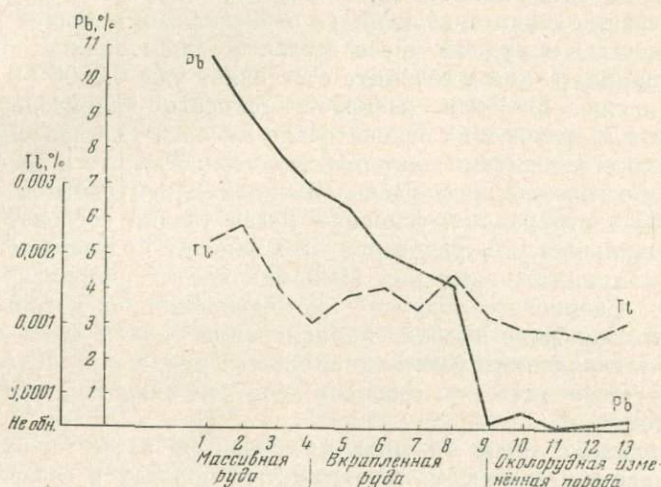
Совершенно иная картина наблюдается в месторождениях, расположенных в карбонатно-глинистых породах в северо-западной части изученного района (Кличкинское и Чупинское рудные поля). Здесь таллий преимущественно концентрируется в сульфидной части руд.

Так, в Почекуевском и Чупинском месторождениях, приуроченных к кремнистым и известково-углистым, углистым и известковистым сланцам, в рудах которых жильные алюмосиликаты играют весьма незначительную роль, концентрация таллия в галените и булажерите достигает максимальных для района величин (0,003—0,005%). Опробование руд Почекуевского месторождения показывает четкую корреляционную зависимость свинца и таллия, что говорит о тесной связи таллия со свинцовыми минералами. Руды Савинского № 5 и Кличкинского месторождений, из которых первое расположено преимущественно в аксинитизированных и ороговикованных сланцах на контакте с кварцевыми диоритами, а второе — в метаморфизованных доломитах на контакте с гранит-порфирами, значительно более обогащены серицитом и, соответственно, содержат меньшее количество таллия в галенитах (0,001—0,002%). Таллий в рудах этих месторождений распределяется приблизительно поровну в галенитах и серицитах. В этой связи становится понятной относительная равномерность распределения его концентраций в пределах рудного контура месторождений и отсутствие существенных изменений его содержания как в пробах руд с высокими концентрациями свинца, так и, в пробах, практически безрудных, но обогащенных серицитом (фиг. 31).

Концентрация таллия в галенитах в зависимости от содержания в рудах K_2O , в какой-то степени отражающего факт находде-

ния в этих рудах калийсодержащих алюмосиликатов, показана в табл. 54.

Анализируя характерные особенности поведения таллия в изученных рудах, можно прийти к следующим выводам.



Фиг. 31. Распределение концентраций таллия в массивных и вкрапленных рудах и околорудных измененных породах (месторождение Савинское № 5)

В процессе сульфидного минералообразования, в условиях близко одновременной кристаллизации жильных алюмосиликатных и сульфидных минералов, таллий проявляет в значительно боль-

Таблица 54

Зависимость концентраций таллия в галенитах от количества присутствующего в рудах K_2O

Месторождение	Содержание K_2O в руде, %	Содержание Tl в галените, %
Почкуевское	1,21	0,0047
Савинское № 5	0,71	0,0017
Каменское	2,23	0,0005
Мыльниково-Хорки- ринское	3,12	0,00015

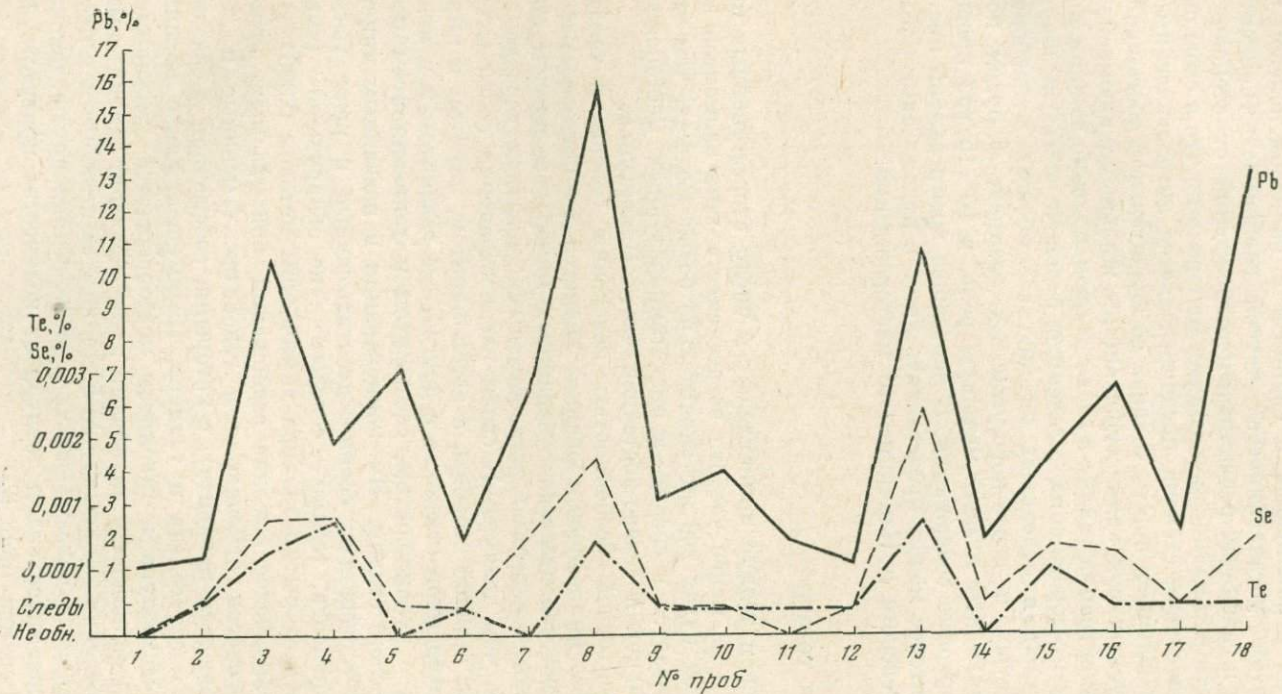
Примечание. Содержания K_2O приведены по результатам химического анализа технологических и средних групповых проб руды, выполненных в химических лабораториях ИГН АН СССР, Союзгеоразведки, Иркутского горно-металлургического института и ИМГРЭ.

шей степени литофильные, чем халькофильные свойства, предпочтительно накапливаясь в сериците и калиевом полевом шпате. При этом устанавливается четкая зависимость концентраций таллия в галенитах различных месторождений от степени обогащенности руд калийсодержащими минералами, что в свою очередь в значительной степени предопределяется литологическим составом вмещающих пород. В связи со значительной обогащенностью исследуемых руд калийсодержащими жильными алюмосиликатами концентрация таллия в главном промышленно важном минерале этих месторождений — галените, большей частью незначительна и лишь в отдельных из них, залегающих в карбонатных, кремнистых и известково-углистых сланцах, в рудах которых алюмосиликаты играют меньшую роль, в 10—15 раз превышает его кларковые содержания. В настоящее время таллий практический интерес может представлять лишь в рудах Савинского № 5, Почекуевского и Кличкинского месторождений.

Селен и теллур

Селен и теллур принадлежат к числу второстепенных примесей. Тем не менее частота встречаемости этих элементов в описываемых рудах все же значительно более высокая, чем это устанавливается в средне- и низкотемпературных месторождениях центральной и северо-восточной части Приаргуныя.

Характерной особенностью поведения селена и теллура в процессе минералообразования является их широкое рассеивание среди большинства сульфидных минералов, причем степень рассеивания селена в разнообразных сульфидах гораздо значительней, чем теллура. В своем распространении селен и теллур связаны, с одной стороны, с арсенопиритом, пиритом и пирротинном колчеданной стадии, а с другой, — с галенитом и в меньшей степени с буланжеритом, сфалеритом и халькопиритом полиметаллической стадии. Их концентрации в названных минералах обычно составляют: селен — десятитысячные и реже тысячные доли процента, теллур — «следы» — «не обнаружено» (чувствительность открытия теллура химическим методом 0,0001%). Относительно более высокие содержания описываемых элементов систематически отмечаются в галенитах (тысячные и десятитысячные доли процента), с которыми, собственно, и связана основная масса селена и теллура. Преимущественное накопление селена и теллура в галенитах подтверждается имеющимися в нашем распоряжении анализами пирит-сфалерит-галенитовых руд месторождения Савинского № 5, которые за исключением нескольких проб ясно показывают четкую корреляционную зависимость концентраций селена и теллура от количества присутствующего в рудах свинца (фиг. 32).



Фиг. 32. Количественные соотношения свинца, селена и теллура в рудах месторождения Савинского № 5

Собственные минералы селена в рудах не обнаружены, что подтверждает вывод Н. Д. Синдеевой (1959) об изоморфной форме его нахождения в высокосернистых рудах.

Теллур, кроме рассеянного состояния в минералах, образует и собственные соединения: алтаит, гессит, теллуrowисмутит, тетрадимит и калаверит. Причем для ранних парагенезисов колчеданной стадии более характерны теллуриды висмута и золота, а для поздних (полиметаллических) — серебра и свинца. Подобная же закономерность распространения минералов теллура отмечалась А. А. Гармашем в месторождениях Рудного Алтая и Н. В. Нечелостовым, Н. Н. Поповой и Э. Ф. Минцером — в Средней Азии.

Проведенные исследования показывают, что в пределах месторождения концентрация селена в основных сульфидах довольно устойчива, содержания теллура в отдельных минералах изменяются всего лишь в 2—3 раза. С другой стороны, сравнительный анализ галенитов, сфалеритов и пиритов, отобранных из руд различных месторождений Кличкинского района, показывает, что концентрация селена и теллура в этих минералах меняется в очень широких пределах: от «не обнаружено» до тысячных долей процента. При этом устанавливается весьма интересная зависимость: максимально высокие для района содержания селена и теллура (тысячные доли процента), как правило, отмечаются в сульфидах Савинского № 5, Почекуевского и Кличкинского месторождений, руды которых по сравнению с другими месторождениями заметно обогащены медью (сотые и десятые доли процента). В минералах же Каменского и Мыльниковско-Хоркиринского месторождений, в рудах которых содержание меди обычно составляет тысячные и редко сотые доли процента, рассматриваемые элементы встречаются спорадически и в весьма малых количествах («не обнаружено — следы»).

Эта закономерность, четко проявляющаяся в пределах Кличкинского района, находит отражение также и при сопоставлении результатов опробования руд и минералов месторождений других рудных районов полиметаллического пояса Восточного Забайкалья (Акатуевского, Кадаинско-Покровского, Алгачинского и Нерчинско-Заводского). Так, в месторождениях Кадаинско-Покровского рудного района (Каразаргинском, Третье-Каразаргинском, Заргольском и Михайловском), в рудах которых, по данным Н. А. Читаевой, концентрация меди колеблется в пределах от 0,0005 до 0,005%, селен и теллур в сульфидных минералах, как правило, отсутствуют и только лишь в Покровском, Запокровском и Арбуканском месторождениях, содержащих относительно повышенные количества меди (0,0005—0,02%), концентрация обоих элементов достигает 0,0005%.

В месторождениях Акатуевского района, содержащих в рудах медь в количестве от 0,005 до 0,02%, концентрация селена и тел-

лура в сульфиде составляет уже десятитысячные и тысячные доли процента. Аналогичные концентрации меди, селена и теллура установлены К. Ф. Кузнецовым в рудах месторождений Алгачинского района.

В месторождениях Нерчинско-Заводского района содержание меди в рудах, по данным Н. М. Прокопенко и Н. В. Лизунова, колеблется от десятитысячных до десятых долей процента. Некоторая обогащенность руд этих месторождений медью, как это было установлено К. Ф. Кузнецовым, связана с присутствием в них поздней сульфоантимонитовой ассоциации минералов, среди которых широкое распространение получили блеклая руда и бурнонит. В ранних пирит-сфалерит-галенитовых рудах концентрация меди составляет всего лишь десятитысячные доли процента. В отобранных из этих руд минералах (галените, сфалерите, пирите) селен и теллур, как правило, отсутствуют (Кузнецов, 1959).

Сопоставляя все эти данные, мы приходим к выводу, что существует весьма тесная корреляция между содержанием селена и теллура в главных минералах-носителях и количеством присутствующей в руде меди.

Этот вывод находит подтверждение также и в анализе литературных данных по опробованию на селен и теллур руд месторождений ряда других рудных регионов Советского Союза и зарубежных стран, который показывает, что обогащенные медью свинцово-цинковые месторождения, как правило, содержат повышенные концентрации селена и теллура (Рудный Алтай, Центральный Казахстан, Закавказье, Перу и др.), районы и месторождения бедные медью (Приаргунье, некоторые районы Средней Азии и др.) обеднены в целом селеном и теллуrom. Нам представляется, что эта закономерность свойственна не только свинцово-цинковым месторождениям, но также характерна и для ряда других гидротермальных месторождений. При этом, зависимость концентраций селена и теллура от содержания меди проявляется не только в том, что оба элемента часто накапливаются в медных минералах, но заключается и в общей обогащенности руд этими компонентами и в более частом их присутствии. Причины этих связей в настоящее время недостаточно ясны и требуют дальнейших исследований.

Серебро, висмут, олово, сурьма и мышьяк

Серебро. При общей довольно высокой «серебристости» руд Приаргунских месторождений руды Кличкинского района заметно обеднены этим компонентом. Содержание серебра в сульфидных рудах обычно составляет тысячные доли процента и лишь в отдельных случаях достигает сотых долей процента (Кличкинское месторождение). Главным носителем серебра в изученных рудах является галенит. Сульфоантимониты свинца

(буланжерит и джемсонит) по содержанию серебра не уступают галениту, однако они пользуются в районе ограниченным распространением.

Серебро присутствует в галените в количестве от 0,02 до 1,0% и более. Крайне неравномерное содержание серебра в галенитах связано, по-видимому, с относительным распространением в рудах минералов серебра. Среди них установлены — самородное серебро, электрум, аргентит и пираргирит, а также более редко встречающиеся прустит, стефанит, полибазит, штрмейерит, дискразит, аляскаит и гессит. При этом для ранних парагенетических ассоциаций минералов (колчеданная стадия) наиболее характерно присутствие самородного серебра, для более поздних минеральных ассоциаций (полиметаллическая стадия) типичны соединения серебра с серой, сурьмой, мышьяком, медью, висмутом и теллуrom. Минералы серебра в рудах всех изученных месторождений распространены крайне неравномерно. Вместе с тем специальные исследования С. А. Аксеновой и др. показали, что из общего количества серебра в месторождениях района только $\frac{1}{3}$ приходится на индивидуализированные собственные минералы, а преобладающая часть данного элемента представлена твердым раствором или находится в тонкодисперсном состоянии в главных сульфидах.

Наиболее обогащены серебром, по данным спектральных и химических анализов, галениты Савинского № 5, Кличкинского, Каменского, Мелентьевского и Савинского месторождений (0,05—1,0%). В значительно меньших количествах серебро устанавливается в сфалерите (тысячные доли процента) и совершенно ничтожные — в пирите, арсенопирите и пирротине (десятитысячные доли процента).

Таким образом, практически все серебро связано с наиболее поздней существенно галенитовой парагенетической ассоциацией минералов.

Висмут в изученных месторождениях пользуется довольно широким распространением. Наиболее часто и в повышенных количествах висмут отмечается в свинцовых рудах, где он преимущественно сосредоточен в галените. Его содержание в этом минерале по данным спектральных и химических анализов достигает сотых долей процента. В других минералах сульфидных руд (буланжерите, халькопирите, сфалерите, пирите, пирротине и арсенопирите) висмут обнаруживается в значительно меньших количествах (десятитысячные и тысячные доли процента).

Относительно формы нахождения висмута в изученных месторождениях имеются следующие данные. Нашими наблюдениями в рудах месторождения Савинского № 5 установлено присутствие висмута самородного, висмутина, теллуrowисмутита и тетрадимита. По данным С. А. Аксеновой, В. Е. Рудакова и В. А. Суматохина, собственные минералы висмута (козалит, аляскаит и вис-

мут самородный) обнаружены в Савинском № 5, Почекуевском и Кличкинском месторождениях. Сопоставление данных количественных подсчетов в шлифах с химическими анализами позволило им заключить, что весь висмут находится в рудах в виде собственных минералов.

Следует подчеркнуть, что набор минералов висмута не остается одинаковым в различных парагенетических ассоциациях: если для ранней стадии (колчеданной) наиболее типичны простые соединения висмута с серой и теллуrom в ассоциации с самородным золотом, пирротином и халькопиритом, то в позднем, существенно галенитовом парагенезисе преобладают сульфосоли висмута со свинцом, медью и серебром.

Сурьма. Как уже отмечалось, для руд Кличкинского района мало характерно развитие собственно сурьмяных минералов. Незначительные скопления буланжерита и джемсонита известны лишь в рудах верхних горизонтов Савинского № 5 и Почекуевского месторождений. В рудах других месторождений эти минералы, а также другие сульфосоли свинца, серебра, никеля и меди (блеклая руда, цинкениит, дискразит, бурнонит, ульманит, стефанит, брейтгауптит, пираргирит, полибазит) встречаются в очень малых количествах. Из всех перечисленных минералов только брейтгауптит был отложен с продуктами ранней колчеданной стадии, все прочие — в соединении со свинцом, серебром и медью выделялись в полиметаллическую стадию. В виде изоморфной примеси сурьма постоянно присутствует в галените (десятые доли процента), в сфалерите, пирите и пирротине (сотые и тысячные доли процента).

Олово принадлежит к числу второстепенных примесей — его концентрации в рудах большинства месторождений района, как правило, составляют не более тысячных долей процента и лишь в рудах Каменского, Почекуевского и Чушинского месторождений достигают сотых долей процента. Основная часть олова в изученных рудах содержится в виде примесей в галените и буланжерите (сотые доли процента), сфалерите (тысячные доли процента), халькопирите (тысячные и сотые доли процента), а также входит в состав жильных минералов ранних стадий минералообразования — аксинита, мусковита, турмалина, альбита и др. (тысячные и сотые доли процента).

Собственные минералы — касситерит и станнин — пользуются в рудах района относительно ограниченным распространением. При этом для парагенетических ассоциаций минералов, отложенных в ранние стадии минералообразования (полевошпатовую, грейзеновую), свойствен касситерит, для поздних (полиметаллическая стадия) характерны касситерит и станнин.

Мышьяк, являющийся «типичнейшим элементом месторождений Восточного Забайкалья» (Смирнов, 1955), широко развит во всех изученных месторождениях, причем в Савинском № 5,

Почекуевском и Чупинском он относится к числу главных компонентов руд.

Основная масса мышьяка связана с арсенопиритом, который был отложен в течение колчеданной стадии минерализации (кварц-пирит-арсенопиритовая ассоциация). Здесь же (пирит-халькопирит-пирротиновая ассоциация) был отмечен в виде примеси раммельсбергит.

В более поздних парагенезисах мышьяк представлен как в виде примеси в главных рудообразующих минералах — пирите, сфалерите, галените, халькопирите, так и в форме собственных минералов: игольчатого арсенопирита, блеклой руды, зелигманита и прустита.

Бериллий, литий, ниобий, тантал и редкие земли преимущественно сосредоточены в виде аксессуарных примесей в алюмосиликатах ранних стадий минералообразования (слюдах, кварце, флюорите, полевых шпатах).

В настоящее время среди бериллиевых минералов в районе установлены: берилл, бертрадит, фенакит, эвклаз, бавенит, встречающиеся в изученных рудах в виде аксессуариев.

Следует особо подчеркнуть, что рассматриваемые элементы, особенно бериллий и редкие земли, как характерные компоненты предрудных алюмосиликатных парагенезисов не отмечаются в остальных свинцово-цинковых месторождениях Приаргунья и являются типоморфными аксессуориями месторождений изученного района.

ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СВИНЦОВО-ЦИНКОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КЛИЧКИНСКОГО РАЙОНА

Место оруденения Кличкинского района в металлогении Восточного Забайкалья

Одной из характерных черт металлогении Восточного Забайкалья является наличие рудных поясов с различной минерализацией. В известном обобщении С. С. Смирнов (1955) выделил следующие рудные пояса: северо-западный (золото-молибденовый), центральный (оловянно-вольфрамовый) и юго-восточный (свинцово-цинковый).

Последующие исследования Ю. А. Билибина (1953), Ф. И. Вольфсона и К. Ф. Кузнецова (1959), В. Н. Козеренко (1956), В. С. Кормилицына (1959), Е. А. Радкевич (1963) и др. подтвердили это представление С. С. Смирнова и существенно уточнили геолого-геохимические особенности каждого рудного пояса. Тем не менее генетические связи между отдельными рудными поясами все еще остаются в значительной мере неясными.

По мнению С. С. Смирнова, месторождения различных генетических типов, развитые на территории Восточного Забайкалья,

от редкометалльных (оловянно-вольфрамовых) до полиметаллических, являются генетически едиными образованиями, связанными с послеверхнеюрским магматическим циклом. Причины поясового распределения оруденения С. С. Смирнов видел в различном геологическом строении выделенных зон. В последнее время В. С. Кормилицын (1959) предложил иное объяснение пространственного размещения рудных поясов. В отличие от С. С. Смирнова он пришел к выводу, что симметричность рудных поясов в Восточном Забайкалье — от оловянно-вольфрамовых в центральной части геосинклинального прогиба к золото-молибденовому и полиметаллическому в направлении к краевым зонам и области платформ — обусловлена различием возраста интрузивных пород в разных структурно-фациальных зонах и отличиями тектонических условий их формирования. Так, согласно В. С. Кормилицыну, месторождения оловянно-вольфрамового пояса генетически связаны с крупными гранитоидными интрузиями предверхнеюрского возраста, тогда как полиметаллическое и золото-молибденовое оруденение связывается с комплексом послеверхнеюрских малых интрузий.

Анализируя материалы по металлогении Восточного Забайкалья, Е. А. Радкевич (1963) обратила внимание на тот факт, что в пределах одного и того же пояса наблюдаются разновозрастные интрузии с однотипным профилем оруденения. Следовательно, в каждом рудном поясе должны были существовать на протяжении длительного периода общие геологические факторы, предопределившие сохранение специфических особенностей рудной минерализации. Объяснение поясовой зональности с позиций только лишь разновозрастности интрузий и связанного с ними оруденения оспаривается Е. А. Радкевич.

Последние данные по определению абсолютного возраста интрузивных пород, развитых во всех рудных поясах Восточного Забайкалья (Томсон, Иванов, Константинов и др., 1963), также не согласуются с представлениями В. С. Кормилицына. Как установлено И. Н. Томсоном и др., возраст всех интрузий во всех рудных поясах составляет 155—130 млн. лет и все они являются верхнекеммерийскими образованиями.

Таким образом, можно считать, что представления С. С. Смирнова, развитые и дополненные Ф. И. Вольфсоном и К. Ф. Кузнецовым (1959), Е. А. Радкевич (1963) и другими исследователями, о генетическом единстве и близости времени формирования различных месторождений, развитых в пределах всех рудных поясов, являются более обоснованными.

В связи с рассматриваемым вопросом определенный интерес представляют данные по Кличкинскому району, сочетающему в себе черты геологии и рудоносности как редкометалльной, так и полиметаллической специализации.

Геологическое положение изученных месторождений по суще-

ству очень близко к положению хорошо известных редкометалльных месторождений (Шерловая Гора, Хапчеранга, Дульдурга, и др.). Как те, так и другие тяготеют к краевым частям крупных консолидированных поднятий (Агинскому и Урулюнгуевскому), в сложении которых основная роль принадлежит породам преимущественно алюмосиликатного состава. Карбонатные породы находятся здесь в резком подчинении. Среди молодых интрузивных образований преимущественным распространением пользуются граниты.

В минералого-геохимическом облике рассматриваемых месторождений имеется также много общего. Следует упомянуть широкое развитие в свинцово-цинковых месторождениях Кличкинского района высокотемпературных гидротермальных изменений вмещающих пород (грейзенов, альбититов и пр.) и участие в составе руд таких жильных минералов, как полевые шпаты, слюды, турмалин, флюорит; аксессуарных — берилл, берtrandит, фенакит, топаз, шпинели и др.

Кроме того, среди элементов, развитых в составе руд изученных месторождений, наряду со свинцом и цинком, получили широкое распространение фтор и в аксессуарных количествах — бор, бериллий, литий, ниобий, тантал, вольфрам и редкие земли, практически отсутствующие во всех прочих свинцово-цинковых месторождениях Центрального и Северо-Восточного Приаргуныя.

Сравнительные данные по минеральным парагенезисам, окколорудным изменениям и химическому составу руд месторождений районов с оловянно-вольфрамовым и полиметаллическим оруденением, а также месторождений Кличкинского района приведены на фиг. 33. Из его рассмотрения видно, что изученные месторождения занимают как бы промежуточное положение. Наличие «переходного» типа месторождений в Кличкинском районе можно рассматривать как дополнительный аргумент в пользу представлений С. С. Смирнова, Е. А. Радкевич, Ф. И. Вольфсона и других исследователей о генетическом единстве редкометалльных и полиметаллических месторождений.

Возможная температура и глубина рудообразования

Специфический облик месторождений Кличкинского района обуславливает большой интерес анализа всех имеющихся материалов, позволяющих судить о температуре и глубине образования этих месторождений*. Как видно из приводимых данных (табл. 55—57), температура отложения самого раннего кварца и аксини-

* Прямые определения температур образования рудных и жильных минералов были выполнены: 1) методом декрепитации К. С. Талдыкиной и Е. Е. Костылевой (на материале коллекции автора) и 2) методом гомогенизации газовой-жидких включений — Л. И. Колтун, А. А. Локерман, Ю. П. Дорошенко.

та лежит в интервале $450-350^{\circ}\text{C}$, а образование минералов из кварц-флюорит-мусковитовых грейзенов и флюорит-слюдистых метасоматитов находится в пределах $260-240^{\circ}\text{C}$. Данные по определению температуры образования сульфидов методом декрепитации спорны. В последнее время некоторые исследователи (В. Б. Наумов, И. Л. Ходоковский и др.) справедливо считают, что приниматься в расчет должны только температуры начала декрепитации. Если придерживаться этой точки зрения, то примерная температура образования сульфидов лежит в интервале $300-220^{\circ}\text{C}$, что согласуется с данными по гомогенизации газовой-жидких включений в сопровождающих их жильных минералах ($335-190^{\circ}\text{C}$). Температура гомогенизации минералов из наиболее поздних кварц-карбонат-флюоритовых ассоциаций находится в пределах $235-75^{\circ}\text{C}$.

Из геологических наблюдений, косвенно свидетельствующих о возможных температурах образования, упомянем наличие в составе колчеданных и полиметаллических руд такого геологического термометра, как самородный висмут (271°C). Близкими температурами образования характеризуются и структуры распада таких пар минералов, как пирротин-халькопирит, халькопирит-валлериит, кубанит-халькопирит, широко распространенные в рудах Кличкинского района.

В отношении глубины формирования рассматриваемых месторождений большинство исследователей Забайкалья (Д. И. Горжевский, В. Н. Козеренко, А. Ф. Мушников, В. В. Архангельская и др.) сходятся в мнении, что рудные тела месторождений Кличкинского района сформированы на глубине от поверхности, существующей в момент оруденения, не менее чем $1,5-2,5$ км. Этот вывод основывается на представлении о геосинклинальном режиме мезозойского развития этой области, в связи с чем мощности юрских отложений, развитых к северу от района, искусственно переносились на территорию Кличкинского района. Если же исходить из представлений о блоковом строении региона в мезозое (М. С. Нагибина, Г. И. Князев и др.) и предположения, что юрские отложения накапливались только в прогибах, приводимые ранее доказательства не могут считаться убедительными, тем более, что развитые в Кличкинском районе верхнеюрские эффузивы залегают непосредственно на породах нижнего палеозоя и говорить о значительном распространении и мощности в районе нижней и средней юры не приходится. Верхнеюрские эффузивы несут

Фиг. 33. Минералого-геохимические особенности месторождений полиметаллического и редкометалльного поясов Восточного Забайкалья

1 — главные минералы; 2 — второстепенные; 3 — примеси; 4 — редко встречающиеся; гидротермальные изменения (а) и элементы (б) проявлены; 5 — весьма интенсивно; 6 — интенсивно, 7 — слабо

Минералогическо-геохимические особенности		Редкометалльные месторождения	Полиметаллические месторождения	
			Юго-Западные Припаргуны	Центральное и Северо-восточные Припаргуны
Типоморфные минералы	Вольфрамит	●		
	Касситерит	●	○	○
	Полевые шпаты	●	●	
	Флюорит, топаз, турмалин, аксинит, мусковит, серицит, хлорит	●	●	○
	Кварц	●	●	●
	Пирит, пирротин, арсенопирит, сфалерит, галенит	●	●	●
	Сульфосали Pb, Cu, Ag, Sn	○	○	●
	Карбонаты	○	●	●
	Халькопирит	●	●	○
	Самородные Ag, Au, Bi	○	○	○
	Валлерит, кубанит, борнит, марказит, сульфиды Bi, теллуриды Pb, Ag, Au, Bi, арсениды, селенарсениды, сульфиды Ni и Cu	○	○	○
	Группа каолинита, эпидот, целлита и шпинели	○	○	○
Шеслит	●	○		
Типоморфные окислительные изменения	Гидратизация, альбитизация, микроклинизация	▨	▨	
	Серицитизация, хлоритизация	▨	▨	▨
	Окварцевание	▨	▨	▨
Карбонатизация	▨	▨	▨	
Химический состав руд	W, Li, Nb, Ta	▨	▨	
	Be, Th	▨	▨	
	Sn	▨	▨	
	Al, K, Na	▨	▨	▨
	B, F	▨	▨	▨
	* Si	▨	▨	▨
	Pb, Zn, Fe, S, As, Ca, Mg	▨	▨	▨
	Cu, Bi, Co, Ni, Se, Te	▨	▨	▨
	Ag, Tl, Ga, In, Sb	▨	▨	▨
	Au, Mo	▨	▨	▨

● 1 ● 2 ○ 3 ○ 4 ▨ а б 5 ▨ а б 6 ▨ а б 7

Температура гомогенизации газовой-жидких включений в минералах свинцово-цинковых месторождений
Кличкинского рудного района

Минеральная ассоциация	Минерал	Температура гомогенизации, °С	Месторождение	Исследователь
Кварц-аксинитовая	Кварц	450—410	Савинское № 5	Колтун, Локерман, 1962 То же
	Аксинит	450—373 410—350	Почкуевское Савинское № 5	
Флюорит-слюдистая	Флюорит	255—210	Кличкинское	Ю. П. Дорошенко (Львовский Университет им. И. Франко) То же
	Эвклаз	275		
Кварц-мусковит-флюоритовая	Флюорит	303—200	Каменское	Ю. П. Дорошенко (Львовский Университет им. И. Франко)
Колчеданные и полиметаллические руды	Карбонат	300—190 300—200	Почкуевское Савинское № 4	Колтун, Локерман, 1962 То же
	Кварц	300—200	Савинское № 5	
Кварц-флюоритовая	Флюорит	190—80	Савинское № 5	Колтун, Локерман, 1962 То же
	»	190—160	Почкуевское	
	»	190—160	Савинское № 4	
	»	175—80	Кличкинское	
	Кварц	220—210	Савинское № 5	
Кальцит-цеолитовая	»	175—135	Почкуевское	»
	Кальцит-таблитчатый	190—100	Савинское № 5	Колтун, Локерман, 1962
	Кальцит-ромбоэдрический	180—140 110—75	Кличкинское Савинское № 5	То же »

сульфоантимонитовую минерализацию, сопровождаемую баритом и флюоритом. Наличие барита отмечается и в свинцово-цинковых рудах Кличкинского месторождения. В связи с этим вывод о значительной глубине формирования месторождений Кличкинского района в настоящее время не может считаться обоснованным. Скорее всего это, как и многие другие свинцово-цинковые месторождения Забайкалья, гипабиссальные образования.

Таблица 56

Температура декрепитации рудных и жильных минералов из руд свинцово-цинковых месторождений Кличкинского района, по данным К. С. Талдыкиной (1962)

Стадия минерализации	Минерал	Температура начала декрепитации, °С	Температура интенсивной декрепитации, °С	Месторождение
Полиметаллическая	Пирит	280	310	Савинское № 5
	Сфалерит . . .	280	320	»
	Галенит	300	350	»
Кварц-карбонатная	Флюорит . . .	160	290	Савинское № 5
		180	320	
		200	370	
	Кальцит	180	280	Савинское № 5
		100	150	
			300	
Кварц	200	280	Савинское № 5	
	180	200	Кличкинское	
		300—370		

Таблица 57

Температура декрепитации сфалеритов из руд свинцово-цинковых месторождений Кличкинского района

Парагенетическая ассоциация	Температура начала декрепитации, °С	Температура интенсивной декрепитации, °С	Месторождение
Существенно сфалеритовая	300	410	Савинское № 5
	280	405	Каменское
	300	410	Кличкинское
	300	400	Почкуевское
	220	400	Мыльниково-Хоркиринское

Влияние литологического состава вмещающих пород на условия образования оруденения

Месторождения Кличкинского рудного района представляют собой наглядный пример пространственно сближенных и генетически единых месторождений, залегающих в резко различающихся по литологическому составу породах. С другой стороны, изученный район в целом характеризуется тем, что в его пределах оруденение формировалось преимущественно в алюмосиликатных породах.

Все это позволяет проследить влияние на процессы оруденения пород различного состава, развитых в районе, и проанализировать общую особенность оруденения в связи с преобладанием алюмосиликатных пород.

4. Суммируя данные по всем изученным месторождениям района, можно констатировать, что литологический состав вмещающих пород predetermined морфологию и структуру месторождений, минеральный и химический состав руд и окolorудное изменение вмещающих пород. Состав вмещающих пород оказывал влияние на количественные соотношения рудных компонентов, входящих в состав руд, а также и на оптические и другие свойства отдельных минералов, на концентрацию и рассеяние редких элементов и элементов-примесей в различных минералах.

Проведенные исследования показывают, что для месторождений, залегающих в толщах сланцев, характерно:

1) локализация руд в межформационных зонах срыва и рассланцевания;

2) пласто- и линзообразные формы рудных залежей, имеющих преимущественно относительно крупные размеры;

3) образование мощных зон обогащенных аксинитом пород в дорудную стадию метаморфизма и преобладание в составе жильных минералов кварца, серицита, хлорита и карбонатов;

4) широкое развитие пирита и арсенопирита, резкое преобладание сфалерита над галенитом, повышенное содержание халькопирита;

5) преимущественное развитие вкрапленных руд;

6) присутствие высокожелезистого сфалерита, характеризующегося малым удельным весом и пониженной микротвердостью;

7) преобладание среди слюдистых минералов руд магнезиально-железистых разностей (флоголит, магнезиально-железистый хлорит);

8) постоянное присутствие в рудах кобальта, никеля, селена, теллура и висмута.

Для месторождений, залегающих в гранитоидах, характерно:

1) приуроченность оруденения к зонам древних разломов, сопровождающихся развитием обильных ксенолитов, переработанных в гибридные породы;

2) значительная протяженность и мощность рудных тел, представленных штокверковыми зонами;

3) развитие широких ореолов альбитизированных, грейзенизированных и березитизированных пород вблизи рудных тел. Из жильных минералов наиболее характерны полевые шпаты, хлорит, мусковит и другие алюмосиликаты;

4) преобладающая распространенность из сульфидов в составе руд пирита, сфалерита и галенита, часто развитых в одинаковом количестве;

5) развитие преимущественно убогих руд, гнездово-прожилково-вкрапленных;

6) более низкое содержание в сфалеритах железа, по сравнению с предыдущим типом месторождений, соответственное изменение и их физических свойств;

7) резкое падение содержания магния в хлоритах (шамозит);

8) распространение в составе редкометальных примесей таких аксессуаров, как бериллий, ниобий, тантал, редкие земли и литий.

Для месторождений, залегающих в доломитах, является характерным:

1) приуроченность оруденения к зонам контакта с интрузивными породами;

2) трубчатая и линзообразная форма залежей, имеющих обычно небольшие размеры;

3) околорудные изменения, выраженные в ослюдении и оплакивании вмещающих пород. Главные жильные минералы руд — кварц, хлорит, доломит. Весьма характерен флюорит, образующий в ряде случаев самостоятельные промышленные скопления;

4) незначительное развитие в рудах пирита, резкое преобладание галенита над сфалеритом;

5) наличие богатых (сплошных) сульфидных руд при практическом отсутствии бедных (прожилковых и вкрапленных);

6) низкое содержание железа в сфалеритах, обуславливающее наиболее высокий удельный вес и микротвердость минерала;

7) преимущественно магниезиальный состав слюдистых минералов;

8) повышение концентрации кадмия, накопление в сульфидных минералах таллия и галлия, которые в предыдущих типах (особенно во втором) оказались рассеянными в алюмосиликатных минералах.

2. Наряду с отмеченными отличительными особенностями отдельных месторождений Кличкинского района все они в целом имеют одну общую черту, резко выделяющую их среди других свинцово-цинковых месторождений Приаргунского полиметаллического пояса. Она заключается в том, что все месторождения района формировались в условиях резкого преобладания пород алюмосиликатного состава (гранитов, сланцев). Эта особенность пред-

определила широкое развитие в рудах и околорудно измененных породах минералов алюмосиликатного состава. Соответственно и среди жильных минералов руд ведущими компонентами являются щелочи и глинозем, тогда как в составе нерудных минералов месторождений Северо-Восточного Приаргуныя, залегающих в карбонатных породах, по данным К. Ф. Кузнецова, Н. А. Читаевой, О. П. Поляковой и других исследователей, значительное место занимают магний и кальций.

* * *

Детальное изучение вещественного состава руд и околорудно измененных пород большинства известных на территории Кличкинского района месторождений и рудопроявлений с учетом данных ряда исследователей о геологическом строении района и месторождений, позволяет считать их разновозрастными и генетически едиными образованиями. Наблюдаемые различия морфологии рудных тел, их размеров, количественных соотношений рудных и нерудных минералов, состава околорудно измененных вмещающих пород, текстур и особенностей химического состава руд и минералов обусловлены геологическими условиями формирования месторождений, среди которых особо важную роль в районе играет литологический состав вмещающих пород.

Наряду с сохранением общих минералого-геохимических черт, свойственных всему полиметаллическому поясу Приаргуныя, месторождения Кличкинского района характеризуются своими специфическими особенностями. К ним относятся:

1) чрезвычайно интенсивное проявление ранних предрудных пневматолито-гидротермальных изменений (грейзенизация, альбитизация и др.). Широкое развитие минеральных ассоциаций, отложенных в среднетемпературные (мышьяково-колчеданные и полиметаллические руды) и низкотемпературные (флюорит, кварц, кальцит) стадии минералообразования. Почти полное отсутствие сульфосолой;

2) преобладающее развитие среди жильных минералов разнообразных алюмосиликатов: слюд, полевых шпатов, хлорита, шпидели и др.;

3) существенное обогащение руд фтором; руды также постоянно содержат в виде аксессуарных примесей бор, литий, редкие земли, вольфрам, бериллий, ниобий, тантал;

4) относительно повышенные по сравнению с другими полиметаллическими месторождениями Южного Приаргуныя концентрации в составе руд меди, селена, теллура, висмута, кадмия, кобальта и никеля; с другой стороны, обеднение руд серебром, индием, сурьмой, таллием и галлием.

**СТРУКТУРНО-ЛИТОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ
НАКОПЛЕНИЯ РЕДКИХ ЭЛЕМЕНТОВ
В СВИНЦОВО-ЦИНКОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ПРИАРГУНЬЯ
(ВОСТОЧНОЕ ЗАБАЙКАЛЬЕ)**

Восточное Забайкалье представляет собой рудную провинцию, где исключительно широко проявлена мезозойская свинцово-цинковая минерализация. Однако несмотря на генетическое родство свинцово-цинковых месторождений этого региона, установленное еще С. С. Смирновым, смежные рудные районы характеризуются удивительно четкой геохимической специализацией сопутствующих редкометалльных примесей. В одних рудных районах отмечается исключительно высокая серебристость свинцово-цинковых руд и редкое природное сочетание богатейшей индиевой и таллиевой минерализации; в других — свинцово-цинковые руды отличаются сравнительно повышенной кадмиеносностью и проявлением висмутовой и селеново-теллуровой минерализации; в-третьих они несут настолько низкие содержания перечисленных редких элементов, что можно говорить о почти полной стерильности свинцово-цинковых руд в отношении редкометалльных примесей.

Иными словами, несмотря на принадлежность всех свинцово-цинковых месторождений Восточного Забайкалья к единому металлогеническому циклу, в этом регионе по существу нет такого района или рудного поля, месторождения которых были бы идентичны как по спектру, так и по содержанию сопутствующих элементов-примесей.

Особенности распространения редких элементов в свинцово-цинковых месторождениях Восточного Забайкалья длительное время оставались не расшифрованными и лишь в последние годы стало совершенно очевидным, что накопление редких элементов и, в частности, редкометалльная специализация отдельных рудных районов в значительной мере зависит от совокупности геологических факторов. В силу специфики своих геохимических свойств редкие элементы гораздо чувствительнее к изменению физико-химических условий рудообразования, чем основные компоненты свинцово-цинковых руд, вследствие чего их концентрации, формы нахождения и поведение даже в генетически родственных месторождениях резко меняются при малейшем изменении структурно-литологической обстановки формирования руд.

Первый опыт изучения роли геологических факторов в поведении редких элементов в свинцово-цинковых месторождениях Восточного Забайкалья был проведен автором совместно с Н. А. Читаевой и Г. М. Мейтув (1958—1962 гг.). Эти исследования показали, что при сравнительно однотипном комплексе редких элементов, характерных для послеверхнеюрской-донижнемеловой металлогении Приаргунского свинцово-цинкового пояса в целом (таллий, галлий, кадмий, индий, висмут, селен, теллур, серебро и др.), в пределах этого региона намечаются районы, обогащенные или, наоборот, резко обедненные теми или иными редкими элементами (Кузнецов и др., 1958). Редкометальная специализация свинцово-цинковых руд в этих районах отчетливо совпадает с границами структурно-металлогенетических районов, отличающихся друг от друга тектонической обстановкой, характером вмещающих пород и проявлением магматизма (Вольфсон, Кузнецов, 1959).

В последнее время влияние геологических факторов на поведение редких элементов в процессе образования сульфидных руд установлено для ряда других рудных провинций Советского Союза. Этими факторами, по-видимому, обусловлены крайне неравномерные концентрации индия в касситерит-сульфидных и свинцово-цинковых месторождениях Дальнего Востока и Якутии (Иванов, 1960), большая изменчивость содержания селена, теллура и галлия в колчеданных и свинцово-цинковых месторождениях Рудного Алтая (Гармаш, 1960), отчетливое районирование таллиеносных свинцово-цинковых месторождений Кавказа (Иваницкий, 1960) и высококадмиеносных рудопроявлений Средней Азии (Бадалов, 1959).

Ниже на примере смежных рудных районов Приаргунского свинцово-цинкового пояса показано влияние структурно-литологических факторов на концентрацию и рассеяние редких элементов в свинцово-цинковых рудах, образовавшихся в различных геологических условиях, а также делается попытка наметить некоторые региональные закономерности их распространения в Восточно-Забайкальской геохимической провинции.

ПРИАРГУНСКИЙ СВИНЦОВО-ЦИНКОВЫЙ ПОЯС

Общие сведения о геологии и металлогении

Приаргунский свинцово-цинковый пояс, выделенный в пределах Восточного Забайкалья С. С. Смирновым, занимает относительно небольшую территорию в юго-восточной части этого региона. На юго-востоке его геологической границей является полоса меловых осадочно-эффузивных отложений Приаргунской депрессии, на северо-западе — линейновытянутая серия верхнеюрских прогибов Газимурского антиклинория (Смирнов, 1944).

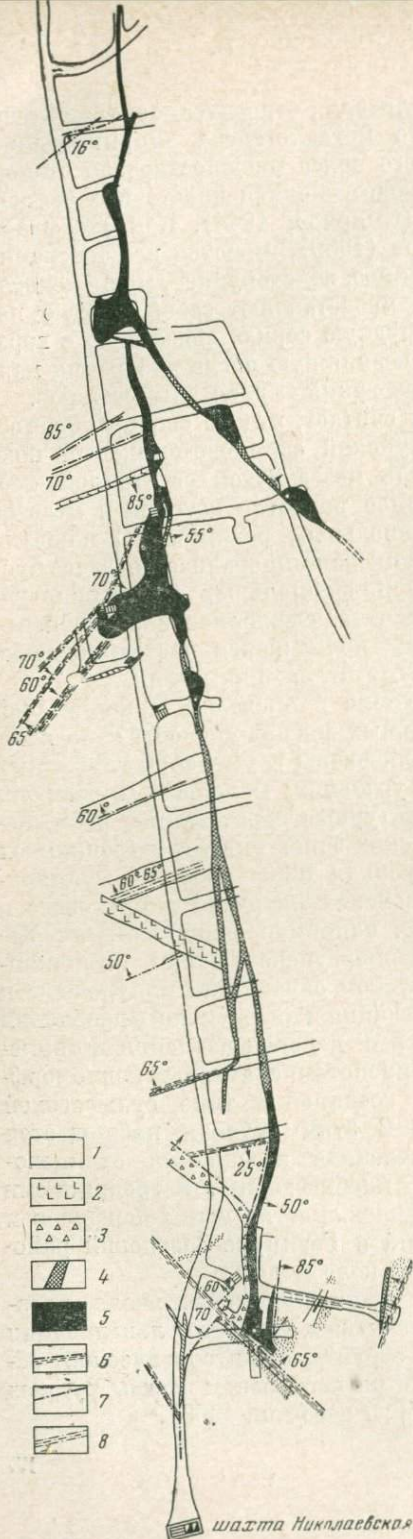
В общей схеме мезозойской металлогении Восточного Забай-

каля свинцово-цинковая минерализация относится к заключительному этапу верхнекеммерийского металлогенеза. Формированию Приаргунского свинцово-цинкового пояса предшествовало становление в Восточном Забайкалье золото-молибденового и оловянно-вольфрамового рудных поясов (Смирнов, 1944). Как указывают Ф. И. Вольфсон и К. Ф. Кузнецов (1959), имеются все основания считать, что вольфрамовое, оловянное, золоторудное, молибденовое и свинцово-цинковое оруденения представляют собой единую последовательно сформированную рудную серию, связанную с верхнекеммерийским магматизмом и возникшую после внедрения наиболее молодых интрузивных образований — даек лампрофиров.

В. Н. Козеренко (1956, 1963) считает, что по своему общегеологическому положению Приаргунский свинцово-цинковый пояс представляет собой краевую часть мезозойской остаточной геосинклинальной системы, внутреннее развитие которой в мезозое характеризуется интрагеоантиклинальным режимом. С наибольшей интенсивностью свинцово-цинковая минерализация здесь проявилась в пределах двух структурно-фациальных зон: Приаргунской, представляющей собой поднятие, сложенное карбонатными породами палеозоя, и Переходной, являющейся частью прогиба, заполненного осадочно-эффузивными отложениями юры.

Свинцово-цинковые месторождения в пределах Приаргунской и Переходной структурно-фациальных зон приурочены к подвижным тектоническим зонам и локализованы в умеренно глубинных или типично близповерхностных условиях. В первом случае они представляют собой среднетемпературные образования, размещаются главным образом в палеозойских зонах смятия и трещинных зонах нижней-средней юры на глубинах 1000—1500 м, ассоциируют со штоковыми фациями мезозойских интрузий диоритового и гранодиоритового состава. Таковы, например, свинцово-цинковые месторождения западной части Приаргунского пояса (Кличкинский, Акатуевский районы). Во втором случае они приурочены к приповерхностным зонам брекчирования и интенсивного дробления на глубинах 500—700 м, где быстрый перепад давления и температуры способствует образованию низкотемпературных колломорфных руд и сложных природных соединений типа сульфосолей свинца, меди, серебра и олова. В этих случаях наблюдается исключительно тесная пространственная ассоциация свинцово-цинкового оруденения с резко гипабиссальными трещинными интрузиями типа кварцевых порфиров, плагиосиенит-порфиров и лампрофиров (Нерчинско-Заводский и Газимуро-Заводский районы, Александрово-Заводское рудное поле и др.).

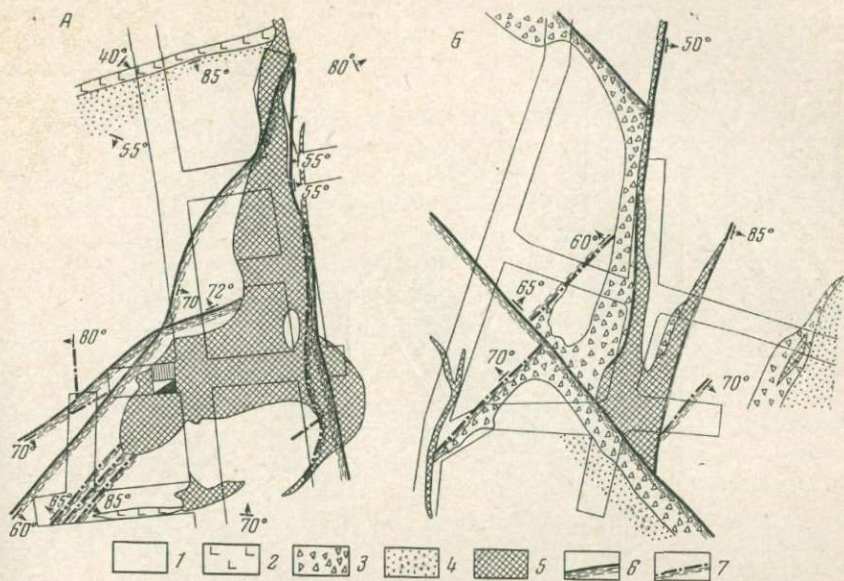
Месторождения Приаргунского свинцово-цинкового пояса чрезвычайно разнообразны по литологическим условиям локализации оруденения и в зависимости от структурно-литологической обстановки характеризуются большим разнообразием формы рудных залежей (Вольфсон, Кузнецов, 1959; Вольфсон, 1963).



Большинство из них связано с массивными карбонатными породами и имеют форму сложных ветвящихся труб (Смирновское, Благодатское, Воздвиженско-Резановское и другие рудные поля) или изометричных штоков (Кадаинское и Запокровское рудные поля). Как правило, для таких месторождений характерен структурный контроль рудных тел, ибо они локализованы или в местах сочленения (пересечения) рудоносных трещин или в зонах обрушения древних карстов. Размеры рудных тел разнообразны — от сравнительно крупных до мелких. Чаще всего месторождения в карбонатных породах представлены скоплением мелких трубчатых рудных тел сечением в десятки и сотни метров, прослеживаемых на глубину 400—500 м.

Другая группа свинцово-цинковых месторождений Приаргунского пояса, также связанная с карбонатными толщами, приурочена к слоистым известнякам и представляет собой скопление столбообразных рудных тел, соединенных между собой жильными проводниками. Таковы свинцово-цинковые месторождения Мальцевско-Килгинского и Акатуевского рудных полей, образующие обычно до-

Фиг. 34. Геологический план Мальцевско-Килгинского месторождения
1 — серые, темно-серые и черные известняки (1:); 2 — дайки лампрофиров (Mz); 3 — зоны брекчирования; 4 — рудные жилы; 5 — рудные столбы; 6 — минерализованные тектонические трещины; 7 — тектонические трещины без следов минерализации; 8 — зоны расщепления



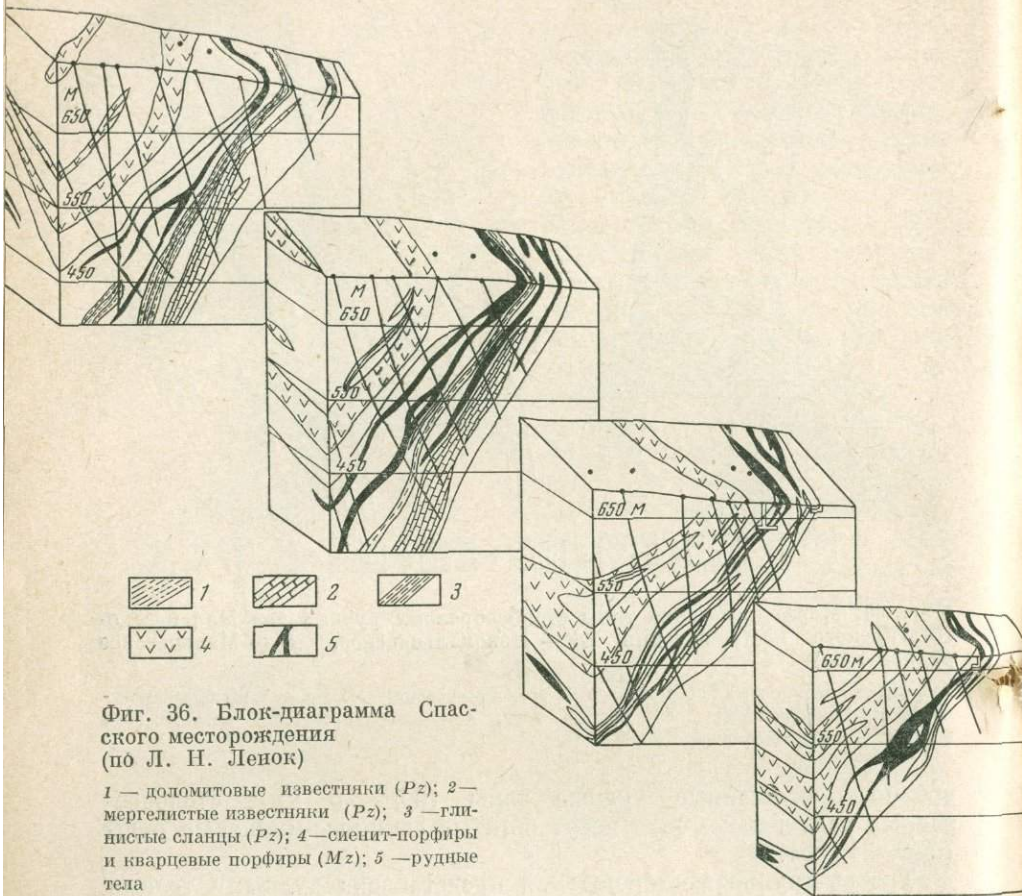
Фиг. 35. Морфологические типы столбообразных рудных тел Мальцевско-Килгинского месторождения (А — Новомальцевское, Б — Мальцевское рудное тело)

1 — серые доломитовые известняки (Pz); 2 — лампрофиры (Mz); 3 — зоны брекчирования; 4 — окварцевание; 5 — рудные тела; 6 — минерализованные тектонические швы; 7 — тектонические трещины

вольно протяженные рудные зоны (0,5—3,5 км), столбообразные раздувы которых несут богатые свинцово-цинковые руды (фиг. 34, 35).

Третья группа месторождений представлена рудными телами жильной и жиллообразной формы, залегающими в зоне контакта известняков и глинистых сланцев (Спасское рудное поле) или же непосредственно в толще песчано-глинистых пород (Алгачинское, Александрово-Заводское, Покровское и другие рудные поля). Мощность жильных рудных тел изменяется в широких пределах, от десятков сантиметров до первых метров, а их протяженность и распространение на глубину — от нескольких десятков до сотен метров (фиг. 36).

И, наконец, следует выделить еще один морфологический тип рудных тел — минерализованные зоны дробления в различных по составу породах. Сюда относятся рудные тела Каменского рудного поля, приуроченного к гранитоидам с ксенолитами гибридных пород; Ново-Широкинского рудного поля, залегающего в порфиритах верхней юры, и послойные, пласто- и линзообразные рудные тела Ивановского, Михайловского и Явленского рудных полей,



Фиг. 36. Блок-диаграмма Спасского месторождения (по Л. Н. Ленюк)

1 — доломитовые известняки (Pz); 2 — мергелистые известняки (Pz); 3 — глинистые сланцы (Pz); 4 — сиенит-порфиры и кварцевые порфиры (Mz); 5 — рудные тела

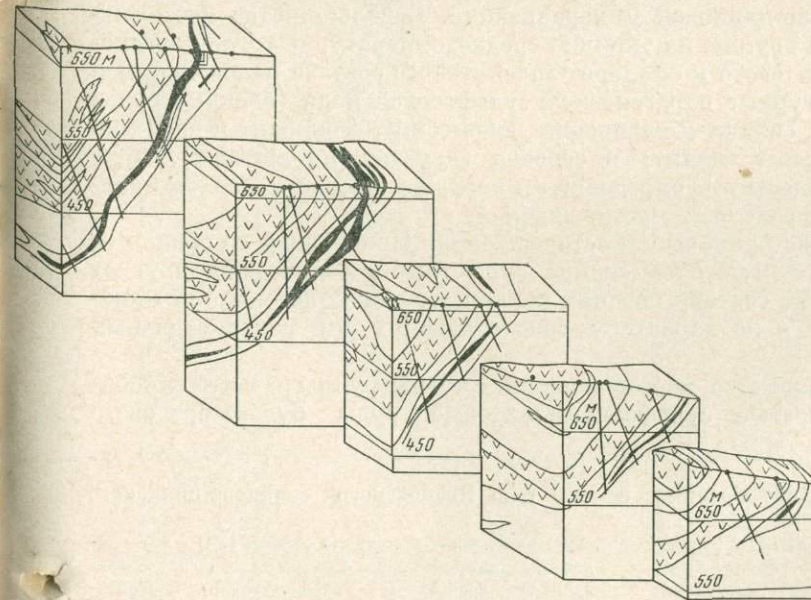
которые по существу являются минерализованными зонами дробления, связанными с интенсивным брекчированием и тектоническим разлнзванием карбонатных прослоев в толще сланцев и песчаников. Обычно масштабы этих рудных тел довольно значительны, но иногда они несут убогие руды. Протяженность таких тел по простиранию и на глубину достигает сотен метров (фиг. 37).

Несмотря на отмеченные различия в структурно-литологических условиях локализации свинцово-цинковых месторождений Приаргунского пояса, все они представляют генетически родственную серию, связанную с верхнеюрским тектоно-магматическим циклом, и, как следствие этого, очень близки по своим минералого-геохимическим особенностям.

В зависимости от количественного сочетания тех или иных

парагенетических ассоциаций рудных минералов и удельного веса различных минералогических типов сульфидных руд, в Приаргунье довольно четко выделяются три минералогические группы месторождений.

Месторождения первой группы проявлены главным образом в западных районах Приаргунского свинцово-цинкового пояса и характеризуются исключительно широким развитием относительно ранних, высокотемпературных ассоциаций минералов. В этой группе намечаются как бы две ветви. Первая ветвь — это высокотемпературные свинцово-цинковые месторождения Кличкинского района (Каменское, Савинское и другие рудные поля), где сульфидной минерализации предшествовали процессы ранней полевошпатизации и грейзенизации (Архангельская, 1963); здесь преобладают пирит-пирротиновые, галенит-сфалеритовые руды, ассоциирующие с высокотемпературными алюмосиликатами. Вторая ветвь — это относительно высокотемпературные мышьяково-колчеданные месторождения Кадаинско-Покровского района (Запокровское рудное поле), характеризующиеся широким развитием ранних арсенопирит-пиритовых руд и весьма скудным проявлением сфалерит-галенитовых руд, а с геохимической точки зрения — низкими, как бы синвелированными содержаниями редкометалльных примесей. Основная масса руд сложена агрегатами мелкозернистого арсенопирита и пирита, с которыми тесно ассоциируют, с одной стороны, минералы высокотемпературного



парагенезиса — турмалин, молибденит, касситерит, кубанит, валерит и др., а с другой, — относительно редко проявленные, но весьма характерные минералы теллура и висмута — висмутин, висмут самородный, теллуровисмутит, петцит, креннерит и др.

Ко второй группе относятся многочисленные свинцово-цинковые месторождения, несущие более поздние сфалерит-галенитовые руды (Акатуевское, Кадаинское, Ново-Широкинское, Благодатское и другие рудные поля). Для этих месторождений характерно резкое преобладание сфалерита и галенита, т. е. наличие богатых сфалерит-галенитовых руд. Однако проявленные здесь парагенетические ассоциации минералов весьма специфичны и отличаются большим разнообразием. Ранние минеральные ассоциации, близкие по времени образования к сфалериту, выделяются преобладанием того или иного минерала: касситерита (Спасское), халькопирита (Ново-Широкинское), маргансидерита (Ивановское) или станина (Благодатское). Для поздних существенно галенитовых руд в одних районах характерно присутствие минералов висмута (Акатуевское), в других — серебра (Благодатское и др.). Геохимическая специфика свинцово-цинковых руд определяется проявлением двух микропарагенезисов: в сфалерите почти всегда присутствуют индий, кадмий и галлий; в галените — серебро, таллий и иногда висмут, теллур и селен.

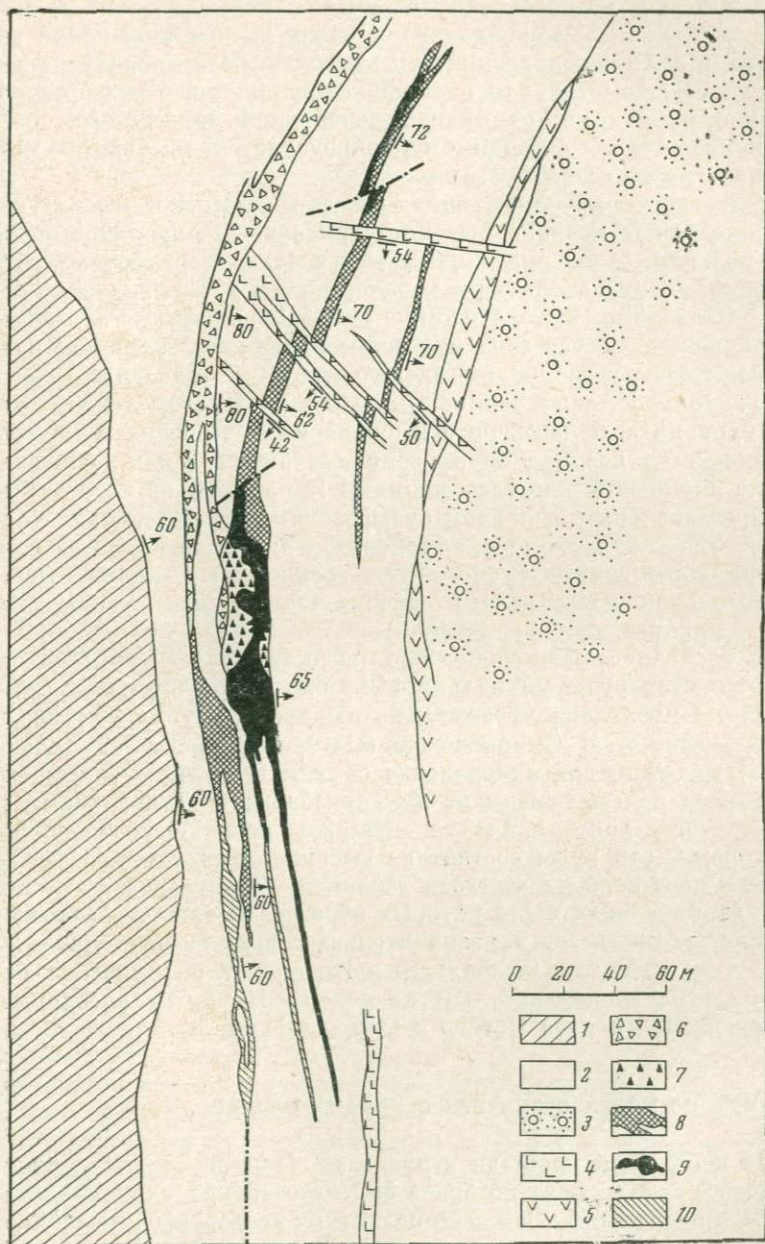
Третья группа объединяет резко телескопированные типично близповерхностные месторождения, являющиеся своеобразным связующим звеном между средне- и низкотемпературными типами свинцово-цинковой минерализации. В большинстве месторождений этой группы на типично среднетемпературные руды арсенопирит-пиритового и сфалерит-галенитового состава наложены низкотемпературные парагенезисы сульфосолей меди (блеклые руды, бурнонит), свинца (буланжерит, джемсонит, геокронит и др.), олова (франкеит, тиллит) и серебра (прустит, пираргирит), которые по существу и определяют минералогическое и редкометальное своеобразие этих месторождений.

Свинцово-цинковые месторождения Приаргунья с обильным развитием сульфосолей свинца существенно отличаются друг от друга как по составу поздних парагенетических ассоциаций минералов, так и по характеру сопутствующих им редкометалльных примесей.

В большинстве месторождений третьей группы развиты относительно простые сульфоантимонитовые руды буланжеритового

Фиг. 37. Линзообразные рудные тела Ивановского свинцово-цинкового месторождения

1 — роговики (Pz); 2 — гидротермально измененные глинистые сланцы (Pz); 3 — конгломераты и песчаники J₁₋₂; 4 — дайки лампрофиров; 5 — дайки фельзит-порфиров; 6 — брекчия безрудная; 7 — брекчия рудная; 8 — галенит-сфалерит-карбонатные руды; 9 — сплошные пиритовые руды; 10 — окварцованная известковистая порода



состава, иногда несущие значительные количества бурнонита (Алгачинское и Спасское рудные поля, Михайловское и Цагайно-Воздаянское месторождения) и очень редкие включения геокронита, прустита, пираргирита и других низкотемпературных минералов. Редкометаллическая специфика буланжеритовых руд, как правило, изменяется от индиево-серебряной до индиево-серебряно-висмутовой и, по-видимому, определяется местными металлогеническими особенностями.

В некоторых месторождениях своеобразие низкотемпературных руд определяют поздние высокоталлиеносные геокронитовые руды. Как правило, такие руды проявлены в близповерхностных месторождениях трубчатой формы, залегающих в карбонатных породах — Екатерино-Благодатском, Воздвиженском, Резановском, Смирновском. Состав этих руд иногда меняется от существенно геокронитовых и геокронит-галенитовых до комплексных, сложенных колломорфными и зернистыми агрегатами геокронита, блеклых руд, бурнонита, буланжерита и джемсонита. Нередко в таких месторождениях поздние сульфосоли слагаются тремя последовательно сменяющимися ассоциациями минералов, из которых первая представлена в основном сульфосолями меди и свинца (блеклая руда — буланжерит — бурнонит — джемсонит), средняя — сульфосолями свинца (менегинит — геокронит) и галенитом и заключительная — минералами серебра (самородное серебро — прустит — пираргирит — кераргирит).

И последней разновидностью поздних сульфоантимонитовых руд являются руды уникального Смирновского месторождения, где совместно проявлена чрезвычайно обширная группа сульфосолей олова и свинца. В Смирновском месторождении О. П. Полякова (1963) выделяет два минералогических типа поздних сульфоантимонитовых руд: в первом из них преобладает таллиеносный геокронит, тогда как все прочие минералы резко ему подчинены, во втором — эти руды состоят из высокоиндиеносного, с высоким содержанием серебра агрегата галенита, касситерита и буланжерита, значительная часть которых образована за счет разложения франкеита. Здесь же в незначительных выделениях проявлены тиллит, цилиндрит и канфильдит-аргиродит, т. е. минералы, свойственные близповерхностным низкотемпературным оловорудным месторождениям типа Потози и Оруро (Боливия).

Структурно-металлогеническое районирование

На небольшой площади в пределах Приаргунского свинцово-цинкового пояса известно более 500 мезозойских свинцово-цинковых месторождений. Важнейшие из этих месторождений сконцентрированы в пяти рудных районах — Кличкинском, Кадаинско-Покровском, Нерчинско-Заводском, Акатуевском и Газимуро-Завод-

ском, которые отличаются друг от друга как по структурно-литологическим особенностям локализации оруденения, так и по минералого-геохимическому составу руд (табл. 58).

Месторождения Кличкинского рудного района (Кличкинская, Мыльшиковско-Хоркиринская, Чупинская и Заурулюнгуевская группы месторождений) относятся к наиболее высокотемпературному типу свинцово-цинковых месторождений Восточного Забайкалья. Не останавливаясь на описании геологического строения этого района, отметим лишь некоторые специфические особенности изверженных массивов. Резкая гнейсированность каледонских гранитов, повсеместное распространение пегматоидных образований, интенсивное проявление гибризма и многие другие признаки свидетельствуют о том, что крупные массивы гранитоидов Кличкинского района являются образованиями более глубинными, чем аналогичные интрузивы других районов Приаргунья. Относительно большая глубина формирования свойственна и для молодых мезозойских интрузий этого района — штоков и дайкообразных тел кварцевых диоритов и сиенитов, а следовательно, и для ассоциирующих с ними свинцово-цинковых месторождений.

Главная особенность руд этого района — широкое проявление в них высокотемпературных шевматолитово-гидротермальных изменений, связанных с ранними полевошпатовыми и грейзеновыми стадиями минерализации, отсутствие или ничтожно малое развитие поздних свинцово-сурьмяных минеральных ассоциаций. Наряду с обычными «нерчинскими» минералами, отложенными в ранние и срединные стадии сульфидного этапа, в месторождениях Кличкинского района весьма обильны полевые шпаты, слюды, турмалин и другие минералы, присутствие которых свидетельствует о том, что формирование свинцово-цинковых руд здесь началось при относительно высоких температурах и протекало на значительно больших глубинах, по сравнению с месторождениями центральных и северо-восточных районов Приаргунья.

В иных тектонических условиях сформированы месторождения смежного Кадаинско-Покровского района (Кадаинское, Запокровское, Покровское рудные поля), расположенного в центральной части Приаргунья. Как показали детальные исследования Н. А. Читаевой (1963) и О. П. Поляковой (1963) в геологическом отношении этот район представляет собой область локального прогиба Кличкинско-Кадаинской антиклинали, осевая часть которой прорвана палеозойскими гранитами Кадаинского массива. Свинцово-цинковые месторождения здесь локализованы преимущественно в метаморфизованных карбонатных и карбонатно-глинистых толщах нижнего палеозоя, залегающих крупными ксенолитами в массивах варисских гранитоидов, и, как правило, контролируются тектоническими нарушениями древнего палеозойского заложения. Рудоконтролирующие структуры четко выражены в ксенолитах палеозойских пород и очень слабо — в изверженных породах и

Структурно-металлогенетические особенности важнейших рудных районов Приаргунского свинцово-цинкового пояса (Восточное Забайкалье)

Рудные районы	Типы свинцово-цинковых месторождений	Структурно-литологические условия развития оруденения	Основные минералогические особенности руд	Редкометалльная специализация
Кличкинский	Месторождения с обильным развитием высокотемпературных алюмосиликатов (высоко-среднетемпературные)	Жилы, линзы и трубчатые жилы в зонах смятия и блоках разлизванных известняков среди песчано-сланцевых толщ, пгрокверковые зоны в гранитоидах, реже трубчатые и линзообразные тела в известняках	Широкое развитие ранних грейзеновых и полевошпатовых ассоциаций минералов; обильное развитие алюмосиликатов в срединные стадии рудного процесса; отсутствие сульфосолей свинца	Сравнительное богатство руд висмутом и кадмием; умеренные концентрации индия, серебра, селена и теллура; широкое рассеяние во вмещающих породах таллия и галлия
Кадаинско-Покровский	Месторождения с развитием раннего мышьяково-колчеданного оруденения (среднетемпературные)	Жилы в трещинах скола среди юрских пород, линзообразные тела на контакте углисто-глинистых сланцев и известняков, трубообразные тела в известняках, штоки в зонах обрушения над карстами	Широкое развитие ранних мышьяково-колчеданных и сфалерит-галенитовых руд; отсутствие грейзеновых, полевошпатовых и сульфоантимонитовых ассоциаций минералов	Умеренные (иногда низкие) концентрации висмута, индия, серебра, селена и теллура. Обедненность руд таллием и галлием
Газимуро-Заводский	Месторождения с развитием реальгара-урипитментовых ассоциаций (средне-низкотемпературные)	Линзы и минерализованные зоны в верхнеюрских порфиритах, трубчатые и жильные тела в палеозойских известняках	Наличие в ранних рудных образованиях гематитовых выделений; преобладание свинца над цинком; выделение поздних стадий в виде реальгар-аурипитментовых ассоциаций	Умеренные (иногда низкие) содержания кадмия, селена и теллура; широкое рассеяние среди вмещающих пород серебра, индия, таллия, галлия и других элементов
Акатуевский	Месторождения с развитием ранних алюмосиликатов и сульфосолей свинца и меди (телескопированные высоко-средне-низкотемпературные)	Трубообразные тела в палеозойских известняках, жильно-и столбообразные тела на контакте известняков и юрских песчано-сланцевых пород, рудные жилы и пластообразные залежи в юрских песчано-сланцевых отложениях и порфиритах	Наличие в одних рудных телах ранних алюмосиликатов, высокотемпературных ассоциаций сульфидных минералов и обильное развитие сульфосолей свинца и блеклых руд	Высокие содержания кадмия, висмута, индия и серебра; умеренные концентрации селена и теллура; пониженное содержание таллия и галлия
Нерчинско-Заводский	Месторождения с обильным развитием сульфосолей свинца (средне-низкотемпературные)	Трубчатые и столбообразные тела в известняках, минерализованные зоны дробления на контакте известняков и сланцев, линзообразные залежи и минерализованные зоны в сланцах, пересеченных зонами брекчий	Отсутствие в рудах ранних высокотемпературных ассоциаций минералов; наличие в них поздних мышьяковых проявлений и обильное развитие сульфоантимонитов свинца (буланжерит-геокронитовые руды)	Резкая обогащенность руд таллием, галлием, индием, серебром; умеренные содержания кадмия, селена и теллура; отсутствие в рудах висмута

отложениях нижней — средней юры, в связи с чем свинцово-цинковая минерализация в последних проявлена менее интенсивно.

Месторождения Кадаинско-Покровского района являются более глубинными образованиями по сравнению с типично близповерхностными месторождениями северо-восточного Приаргунья, но, по-видимому, сформированы на меньших глубинах, чем месторождения Кличкинского района. В Кадаинско-Покровском районе проявлены лишь ранние стадии сульфидного этапа минерализации — пирит-арсенипиритовая и сфалерит-галенитовая (колчеданно-полиметаллический тип оруденения), тогда как более ранние и самые поздние стадии здесь не характерны. При заметной обогащенности руд мышьяком, реже висмутом, теллуrom и селеном, месторождения этого района, как правило, бедны сурьмой и таллием и чаще всего отличаются невысокими концентрациями олова, индия и серебра. Целый ряд геологических данных, в частности, локализация оруденения под сравнительно мощной толщей юрских отложений, пространственная связь месторождений со штоками гранитоидов, относящимися к фациям средних глубин, отсутствие широкого брекчирования пород и т. д. свидетельствует об образовании месторождений Кадаинско-Покровского района в условиях умеренных глубин. Подтверждением этого, очевидно, является и сравнительно интенсивный метаморфизм вмещающих толщ, выраженный в частом проявлении флогопитизации, турмалинизации, серицитизации и хлоритизации карбонатных и глинистых пород.

Нерчинско-Заводский рудный район, расположенный в крайней северо-восточной части Приаргунья, объединяет большое число месторождений Воздвиженско-Резановского, Ивановского, Благодатского, Спасского, Мальцевско-Килгинского, Смирновского, Михайловского и других рудных полей. Важнейшие из них являются классическими примерами так называемого «нерчинского» типа и представлены сложными трубо- и столбообразными телами, залегающими в известняках палеозоя. Другие месторождения приурочены к зоне контакта карбонатных и глинистых пород и имеют форму жиллообразных залежей в зонах дробления и брекчирования. И, наконец, третьим типом месторождений являются линзы и жиллообразные залежи, локализованные в толще глинистых сланцев, где они приурочены или к прослоям карбонатных пород или к зонам тектонических брекчий.

В структурном отношении для месторождений Нерчинско-Заводского района характерна очень тесная связь с палеозойскими ослабленными тектоническими зонами, а их размещение контролируется или изгибами этих зон по простиранию, или узлами сочленения меридиональных и северо-восточных разломов. Являясь типичными образованиями малых глубин, месторождения этого района проявляют тесную пространственную связь с дайкообразными телами резко гипабиссальных мезозойских интрузий, располагаясь

совместно с последними в зонах крупных палеозойских разломов. Свинцово-цинковое оруденение формировалось под небольшим чехлом юрских обломочных отложений, в условиях долгоживущих подвижных тектонических зон и сопровождалось многоактным приоткрыванием одних и тех же разрывных нарушений.

Для Нерчинско-Заводского района характерны многостадийные средне-низкотемпературные месторождения, отличающиеся резко телескопированным обликом руд, ограниченным развитием околорудного метаморфизма и широким проявлением поздних стадий минерализации, несущих низкотемпературное свинцово-сурьмяно-мышьяковое оруденение. На ранние пирит-пирротиновые руды здесь наложены сфалерит-галенитовые и низкотемпературные сульфоантимонитовые руды. Состав поздних сульфоантимонитовых руд чрезвычайно разнообразен и изменяется от мономинеральных геокронитовых и буланжеритовых до комплексных сульфоантимонитовых руд, содержащих много различных сульфосолей меди, свинца и серебра. С точки зрения химического состава руд месторождения Нерчинско-Заводского района заметно выделяются из общей массы нерчинских руд резкой обогащенностью оловом, сурьмой, индием, таллием и серебром и бедностью висмутом и теллуrom.

Акатуевский рудный район (Акатуевское, Алгачинское и Александрово-Заводское рудные поля), представляющий северо-западное окончание Приаргунского свинцово-цинкового пояса, расположен в пределах крупного синклинального прогиба, заполненного осадочно-эффузивными отложениями юры.

Месторождения этих рудных полей отличаются друг от друга как по положению в стратиграфическом разрезе, так и по структурным условиям локализации оруденения. Одни из них (Акатуевское рудное поле) залегают в сильно метаморфизованных карбонатно-глинистых породах нижнего палеозоя, приурочены к крупным древним разломам и пространственно связаны со штоковой фацией верхнеюрских сиенит-диоритов. Другие располагаются в области тектонического контакта карбонатных пород палеозоя с нижне-среднеюрскими песчаниками и сланцами (Алгачинское рудное поле), или же в зонах повышенной трещиноватости в толще верхнеюрских порфиритов (Александрово-Заводское рудное поле) и, как правило, ассоциируют с дайковой фацией интрузий этой возрастной серии, представленной гшабиссальными трещинными телами кварцевых порфиров, фельзит-порфиров и лампрофиров.

Несмотря на отмеченные различия в структурной позиции отдельных рудных полей, свинцово-цинковые месторождения Акатуевского района очень близки по своему минералого-химическому составу. Своеобразие их заключается в резко телескопированном характере руд, которые часто сочетают в себе черты высоко- и низкотемпературных образований. По ряду особенностей (интен-

сивный околорудный метаморфизм вмещающих пород; широкое развитие в рудах высокотемпературной ассоциации минералов, представленной ранним арсенопиритом, турмалином, касситеритом и шеелитом и т. д.) они сходны с месторождениями Кличкинского района. Другие же черты, в частности, многостадийность процесса рудообразования, обогащенность руд сульфосолями свинца, меди и серебра и др., сближают их с типично близповерхностными месторождениями Северо-Восточного Приаргуныя. Поэтому свинцово-цинковые руды Акатуевского района имеют исключительно пестрый химический состав и наряду с главными компонентами содержат значительную примесь мышьяка, бора, меди, олова и сурьмы, а из редких элементов — повышенные количества селена, теллура, индия, кадмия и серебра.

Газимуро-Заводский рудный район, расположенный в области перехода к оловянно-вольфрамовому поясу, характеризуется сложной и разнообразной мезозойской металлогенией, кроме свинцово-цинковой минерализации, значительное место здесь занимают скарново-шеелитовые, оловянно-полиметаллические и другие рудопроявления.

Специфической особенностью свинцово-цинковых месторождений Газимуро-Заводского района, отличающей их от аналогичных месторождений Южного Приаргуныя, является сочетание типично близповерхностного генезиса и необычной для этих условий простоты их вещественного состава. Большинство из них (Ильдиканское, Тайнинское, Краснояро-Золинское рудные поля) приурочено к тектоническим зонам в толще карбонатно-глинистых пород нижнего палеозоя и, судя по данным С. С. Смирнова (1933), представлено метасоматическими телами, сложенными пиритом, сфалеритом, галенитом, кварцем и кальцитом. Все эти месторождения, как правило, глубоко окислены, но имеющиеся материалы характеризуют их первичный состав как крайне бедный мышьяковыми и сурьмяными минералами и вместе с тем указывают на резкое преобладание в рудах цинка над свинцом.

Вторая, менее многочисленная, но более важная в промышленном отношении группа свинцово-цинковых месторождений рассматриваемого района располагается в порфиритовой толще верхней юры (Широкинское рудное поле). Эти месторождения отличаются комплексным золото-полиметаллическим составом руд и присущими им ярко выраженными чертами близповерхностного образования. Здесь совершенно не развиты ранние арсенопиритовые руды, а в более поздних стадиях часто наблюдаются кварцево-гематитовые руды, соответствующие по времени образования пирит-пирротиновым рудам Южного Приаргуныя. О формировании этих руд в условиях незначительных глубин свидетельствуют также широкое развитие колломорфных текстур руд, постоянное преобладание свинца над цинком и проявление низкотемпературных минеральных ассоциаций карбонатно-антимонитового и карбонатно-реаль-

гар-аурипигментового состава. В химическом отношении свинцово-цинковые руды Широкинского рудного поля отличаются повышенными концентрациями золота, меди и висмута, крайне незначительным содержанием олова и сурьмы и общей обедненностью редкометалльными примесями.

ЗАВИСИМОСТЬ ПОВЕДЕНИЯ РЕДКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ОТ СТРУКТУРНЫХ УСЛОВИЙ ОБРАЗОВАНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Среди геологических факторов, определяющих поведение редких элементов в процессе отложения свинцово-цинковых руд Восточного Забайкалья, исключительную роль играют структурные условия образования месторождений.

Прежде всего структурная позиция отдельных рудных районов накладывает своеобразный отпечаток на характер послеверхнеюрского магматизма и металлогеническую специализацию связанного с ним свинцово-цинкового оруденения. В зависимости от положения в тех или иных структурно-фациальных зонах, в одних районах свинцово-цинковая минерализация связана с глубинными штоковыми фациями изверженных пород и характеризуется проявлением высокотемпературных образований с повышенной ролью мышьяка, меди, кадмия, висмута, селена и теллура, тогда как в других проявлены резко гипабиссальные интрузии трещинного типа, с которыми ассоциируют близповерхностные низкотемпературные руды, обогащенные оловом, сурьмой, индием, серебром и таллием.

Кроме этих чисто металлогенических особенностей, структурные условия образования месторождений (глубина формирования руд, удаленность от металлоносных источников и рудоподводящих каналов, характер и этапность развития рудовмещающих структур) оказывают большое влияние на поведение редких элементов непосредственно в процессе минералообразования. С одной стороны, это отражается на масштабах и характере проявления тех или иных стадий минерализации, несущих, как правило, вполне определенный комплекс редкометалльных примесей. С другой стороны, структурные условия являются одной из главных причин изменения физико-химического состояния растворов, в частности, их характера (истинные или коллоидные), и окислительно-восстановительного потенциала, среды, оказывающих чрезвычайно большое воздействие на химизм осаждения редких элементов.

Совокупность этих факторов в значительной степени определяет резкое различие концентрации редких элементов в различных по своему структурному положению рудных районах Приаргунского свинцово-цинкового пояса.

Поведение редких элементов в месторождениях, залегающих в различных структурных этажах Приаргуны

В пределах Приаргунского свинцово-цинкового пояса выделяются два рудоносных структурных этажа: нижний, сложенный нижнепалеозойскими известняками и сланцами, прорванными крупными массивами каледонских и варисских гранитоидов, и верхний, образованный нижне-среднеюрскими кластическими толщами и эффузивно-туфовыми отложениями верхней юры. В первом залегают большинство месторождений Кличкинского, Кадаинско-Покровского и Нерчинско-Заводского рудных районов; во втором — часть месторождений Акатуевского и Газимуро-Заводского рудных районов.

Приуроченность мезозойского свинцово-цинкового оруденения к различным стратиграфическим горизонтам того или иного структурного этажа не могла не отразиться на структурной позиции отдельных минерализованных площадей. Это, прежде всего, сказалось на глубинности формирования руд и характере рудомещающих трещинных структур, а с точки зрения физико-химических условий отложения руд — на их минералого-химическом составе и, в частности, на их обогащенности теми или иными редкими элементами.

Как уже отмечалось, наиболее глубинное, сравнительно высокотемпературное свинцово-цинковое оруденение характерно для Кличкинского рудного района, где отложение свинцово-цинковых руд, как правило, сопровождается широким развитием ранних грейзеново-полевошпатовых ассоциаций минералов и интенсивным проявлением магнезиально-железистого и калиевого метасоматоза. Формирование этих месторождений, по-видимому, происходило под мощной толщей юрских отложений в сравнительно спокойной тектонической обстановке в ассоциации с относительно глубинными фациями мезозойских изверженных пород (Козеренко, 1956). Разрывные структуры здесь носят характер зон смятия и расланцевания в гранитоидных и карбонатно-глинистых породах, а глубина формирования месторождений, по совокупности всех признаков, превышает 1500—2000 м.

Положение месторождений Кличкинского района в самых нижних горизонтах палеозоя, их формирование в условиях больших температур и давлений наложило характерный отпечаток на геохимические особенности руд. Во-первых, в этом типе месторождений проявлена отчетливая тенденция к накоплению элементов, свойственных грейзеновым образованиям (следов бериллия, тантала, рубидия и др.), хотя большая часть этих элементов в данных условиях, вероятно, испытывала широкое рассеяние во вмещающих изверженных породах. Во-вторых, развиты здесь пирит-пирротиновые и сфалерит-галенитовые руды, связанные со срединными стадиями формирования этих месторождений, несут очень свое-

образный комплекс редких элементов, свойственных сульфидным рудам. Из всех редких элементов в свинцово-цинковых месторождениях Кличкинского района накапливается кадмий, содержащийся в сфалеритах, по данным Г. М. Мейтува, до 0,5—0,7%, висмут, концентрирующийся в отдельных минералах в количестве 0,5—0,10%, и селен (содержание колеблется от 0,005 до 0,010). Эти элементы и определяют специфику свинцово-цинковых руд Кличкинского района, ибо, с одной стороны, только для них характерна кадмий-висмут-селеновая специализация, а с другой, — содержание отмеченных элементов в высокотемпературном типе месторождений в Приаргунье в 5—10, а иногда в 100 раз выше, чем в более низкотемпературных рудах.

Высокотемпературные свинцово-цинковые руды, характерные для Кличкинского и в меньшей степени для Кадашско-Покровского (ранние мышьяковые руды) рудных районов, оказались менее благоприятными для концентрации таких элементов, как индий и серебро. Оба эти элемента присутствуют в рудах месторождений Кличкинского района в количествах, совершенно не сопоставимых с количествами, отмеченными в более низкотемпературных месторождениях Приаргунья. Индий редко накапливается в сфалерите в содержаниях, превышающих 0,001—0,005%, и лишь в специфических условиях Каменского месторождения его содержания достигают 0,01—0,10%. Что касается серебра, то его количества в галените этих месторождений обычно не превышают 0,1—0,2%, а в рудах — 6—35 г/т на 1% свинца, что в 5—10 раз ниже, чем в смежных рудных районах Приаргунья.

И, наконец, условия образования месторождений Кличкинского района совершенно неблагоприятны для накопления таллия и галлия. Независимо от характера вмещающих пород (будь то известняки, глинистые сланцы или гранитоиды), таллий и галлий ведут себя здесь как типичные литофильные элементы и не накапливаются в сульфидных рудах. Они либо претерпевают рассеяние в алюмосиликатной части ореолов гидротермальных изменений, либо мигрируют из сферы реакции, накапливаясь в рудах вышележащих горизонтов. Во всяком случае их содержание в тех или иных сульфидных минералах месторождений Кличкинского района, как правило, составляет не более 0,001—0,005%, а чаще 0,0001—0,0005%, т. е. значительно ниже кларкового.

Совершенно иными и в ряде случаев более благоприятными условиями накопления редких элементов характеризуются свинцово-цинковые месторождения, приуроченные к верхним горизонтам нижнепалеозойского структурного этажа. Это типично близповерхностные, низкотемпературные месторождения Нерчинско-Заводского рудного района (включая Смирновское и Михайловское рудные поля).

Геологическое положение этих месторождений, в частности их структурная позиция, очень своеобразно. С одной стороны, они

приурочены к нижнему структурному этажу и, располагаясь в самых верхних горизонтах палеозоя, экранируются хотя бы маломощным чехлом ниже-среднеюрских песчано-глинистых отложений, что, вероятно, способствовало отложению телескопированных руд и созданию местами резко восстановительных условий рудоотложения. С другой стороны, месторождения Нерчинско-Заводского района характеризуются всеми признаками типично близповерхностных образований. Для них отмечается тесная пространственная связь с трещинными, резко гипабиссальными интрузиями порфиров и приуроченность к мощным подвижным тектоническим зонам с проявлением интенсивного дробления и брекчирования, способствовавших широкому развитию низкотемпературных колломорфных руд сульфоантимонитового состава. Анализ мощностей юрских отложений, которые имеют в районе форму маломощных останцов, и строения тектонических зон показывает, что глубина формирования этих месторождений едва ли превышала 500—700 м (Кузнецов, 1963).

Структурное положение свинцово-цинковых месторождений Нерчинско-Заводского района, очевидно, и явилось основной причиной крайне неравномерного, подчас исключительно высокого содержания в них редких элементов.

Сопутствующая редкометалльная минерализация свинцово-цинковых руд этого района, приуроченных к верхним горизонтам палеозоя, отличается от месторождений Кличкинского рудного района, связанных с нижними горизонтами палеозоя. Прежде всего здесь поражает исключительно широкий размах индий-галлий-галлий-галлий-серебряной минерализации, которая по существу и определяет редкометалльную специфику свинцово-цинковых руд Нерчинско-Заводского района. Именно в этом районе сосредоточены наиболее высокоталлийносные свинцово-цинковые геокронитовые руды, содержание таллия в которых достигает 0,3% в минералах и 0,03—0,06% в рудах. Столь же высоки содержания индия и серебра: первый из них образует ураганно высокие концентрации — до 0,2—0,5% в минералах и 0,05—0,08% в рудах; для второго типично высокое содержание в поздних свинцовых рудах — 0,56% в минералах и 0,08—0,10% в рядовых рудах. Частично накапливается и галлий — в большинстве месторождений его концентрация в сфалерите превышает 0,01%. Вместе с тем содержания отмеченных элементов в месторождениях Нерчинско-Заводского района крайне неустойчивы и при малейшем изменении структурно-литологической обстановки меняются в сотни и тысячи раз.

Проводя параллель между относительно глубинными месторождениями Кличкинского района и близповерхностными месторождениями Нерчинско-Заводского района, следует отметить заметную обедненность последних селеном, кадмием и висмутом, т. е. теми редкими элементами, которые в рудах Кличкинского

района накапливались в максимальных количествах. Лишь один из этих элементов — кадмий — образует в них заметные концентрации, иногда достигающие 0,30% (чаще 0,06—0,20%). Содержания висмута в перчинско-заводских месторождениях настолько низки, что представляют лишь чисто геохимический интерес, а селен встречается спорадически в количествах, обычно не выходящих за рамки десяти тысячных долей процента.

Для месторождений Перчинско-Заводского района показательное поведение теллура. Концентрации (0,001—0,005%) этого элемента, пожалуй, близки его концентрациям в месторождениях Кличкинского района, а иногда он накапливается в значительно больших количествах. Однако распространенность теллура здесь очень мала, он характерен лишь для ранних шпирит-шипротинных руд.

Резкие контрасты условий накопления редких элементов еще более рельефно проявлены в свинцово-цинковых месторождениях, развитых в отложениях мезозойского структурного этажа, т. е. в эффузивно-осадочных породах юры.

Здесь, как и в нижележащем палеозойском структурном этаже, намечаются две группы месторождений, принципиально отличающихся как по комплексу, так и по условиям отложения редких элементов: первая объединяет месторождения, локализованные в песчано-глинистых отложениях нижней-средней юры, для которых характерна общая тенденция к накоплению редких элементов в сульфидных рудах; вторая включает месторождения, приуроченные к порфирирам верхней юры, основная геохимическая особенность которых — широкое рассеяние редких элементов во вмещающих породах.

Представителем первой группы являются свинцово-цинковые месторождения Алгачинского рудного поля (Акатуевский рудный район). Большинство из них залегает в самых низах нижне-среднеюрской толщи и располагается либо непосредственно в зоне тектонического контакта палеозойских известняков и песчано-глинистых отложений юры, либо в замкнутых трещинных структурах, отходящих от этого контакта в юрские песчаники и сланцы. И в том, и в другом случае рудные тела имеют жильную форму и, как правило, экранируются плотным глинистым чехлом вышележащих толщ. Несмотря на свое положение в верхнем структурном этаже, эти месторождения, по-видимому, отличаются большей глубиной, чем месторождения Перчинско-Заводского района, ибо большинство из них тяготеет к базальным горизонтам юры, а вышележащая толща юрских отложений, по определению В. Н. Козеренко (1956), имеет мощность не менее 2500—3000 м.

Жильные свинцово-цинковые месторождения Алгачинского рудного поля несут резко телескопированные руды и являются своеобразной «ловушкой» редких элементов. Наличие плотного

глинистого чехла, служащего надежным экраном при развитии оруденения, вероятно, благоприятствовало накоплению редких элементов в рудах. Действительно, здесь наблюдается накопление элементов висмут-кадмий-селеновой группы, свойственной для месторождений Кличкинского района, и вместе с тем проявление повышенных серебряно-индиево-теллурических концентраций, типичных для месторождений Нерчинско-Заводского района. При этом содержание серебра и висмута здесь, по-видимому, достигает максимальных для Восточного Забайкалья значений (в минералах: серебро до 0,6—0,96%; висмут 0,01—0,10%), а прочие элементы, такие как кадмий, селен, теллур, индий, образуют заметно повышенные, равномерные концентрации.

Месторождения Алгачинского рудного поля бедны лишь двумя редкими элементами — таллием и галлием, концентрации которых здесь намного ниже кларковых и редко достигают 0,001%. Однако, как показывает изучение сульфидных руд и вмещающих пород, общий баланс этих элементов довольно высок, а их средние содержания в рудах не ниже, чем в других месторождениях Приаргунского рудного пояса. Все дело в формах фиксации этих элементов, так как в связи с большой глубиной формирования руд и существенно алюмосиликатным составом пород в этих месторождениях чрезвычайно широко проявились процессы серицитизации, хлоритизации и турмалинизации. В алюмосиликатах гидротермально измененных пород и концентрируется здесь основная масса галлия и таллия (среднее содержание 0,001—0,005%).

Процессы рассеяния редких элементов особенно широко проявились во второй группе свинцово-цинковых месторождений верхнего структурного этажа, залегающих в самых верхах эффузивных и туфовых горизонтов верхней юры (Ново-Широкинское, Александрово-Заводское рудные поля). Структурная позиция этих месторождений, как правило, определяется зонами повышенной трещиноватости типа ослабленных зон смятия и брекчирования, маркирующими древние палеозойские разломы. Иногда вдоль этих зон намечается проседание пород, и они служат ограничивающими плоскостями молодых юрских грабенов. Обычно глубина формирования этих месторождений не превышает 500—1000 м, в связи с чем они являются типично близповерхностными образованиями, характеризующимися широким развитием поздних колломорфных руд (Ново-Широкинское) или комплекса сульфоселей меди и свинца (Александрово-Заводское рудное поле).

Условия образования свинцово-цинковых месторождений в породах верхней юры, по-видимому, мало способствовали осаждению редких элементов в сульфидных рудах. По данным И. А. Златогурской, элементы-примеси свинцово-цинковых руд в месторождениях Ново-Широкинского рудного поля представлены главным образом золотом, образующим промышленные скопления; висмутом, для которого иногда характерны собственные минералы, и

Таблица 59

Содержание редких элементов в свинцово-цинковых рудах и верхнеюрских вмещающих породах Газимур-Заводского района

Редкие элементы	Содержание, %		Среднее кларковое значение
	свинцово-цинковые руды	юрские порфириды	
Таллий	0,0001	0,0003—0,001	$1,3 \cdot 10^{-4}$
Галлий	0,0001	0,001	$1,5 \cdot 10^{-3}$
Индий	0,0006—0,003	0,001—0,003	$1,0 \cdot 10^{-5}$
Кадмий	0,001—0,003	0,003—0,050	$5,0 \cdot 10^{-5}$

теллуром, концентрации которого нередко достигают 0,003% (в минералах).

Большая группа редких элементов — индий, кадмий, таллий, галлий, селен и др. в Ново-Широкином месторождении не концентрируется в рудах, а широко рассеивается во вмещающих рудные тела порфиридах, причем содержание этих элементов в зонах гидротермально измененных пород в 10—100 раз выше средних кларковых значений и примерно в несколько раз выше, чем в свинцово-цинковых рудах (табл. 59).

Поведение редких элементов в зависимости от интенсивности проявления отдельных стадий минерализации

В результате многолетних минерагенических исследований С. С. Смирнов (1955) пришел к заключению, что вся совокупность свинцово-цинковых месторождений Приаргуныя представляет собой генетически сходную рудную серию, являющуюся продуктом различных стадий единого гидротермального процесса, связанного с верхнекеммерийским тектономагматическим циклом. Поэтому несмотря на пространственную разобщенность рудных районов в формировании нерчинских свинцово-цинковых месторождений намечается общая направленность, выраженная в последовательной смене предрудных образований мышьяково-колчеданными и свинцово-цинковыми рудами, а последних — типично низкотемпературными свинцово-сурьмяно-мышьяковыми проявлениями. В зависимости от структурной позиции рудоносных площадей, масштабы проявления тех или иных стадий, их минеральный состав и комплекс сопутствующих им редких элементов в отдельных рудных районах Приаргуныя резко меняются (см. табл. 58).

Ранние предрудные стадии минерализации, обусловившие

широкое площадное изменение вмещающих пород, с наибольшей интенсивностью проявились в относительно глубинных месторождениях юго-западного Приаргуны (Кличкинский район). Исследованиями Г. М. Мейтува (1962), В. В. Архангельской (1963) и др. установлено, что отложению руд здесь предшествовали процессы высокотемпературного пневматолитово-гидротермального метаморфизма, выразившиеся в образовании протяженных зон альбит-микроклиновых и грейзенизированных пород. Для слагающих эти породы минералов (полевых шпатов, слюд, турмалина, аксинита, датолита, берtrandита и др.), а следовательно, и для локализованных в них свинцово-цинковых руд характерен повышенный фон ряда редких элементов, среди которых главную роль играют таллий, галлий, рубидий и акцессорные — бор, тантал, ниобий и бериллий.

Развитие предрудных стадий в менее глубинных условиях, типичных для образования свинцово-цинковых месторождений Кадаинско-Покровского и Акатуевского районов, ограничилось тремолитизацией и флогопитизацией карбонатных пород и проявлением турмалинизации и серицит-хлоритовых изменений в глинистых сланцах. Соответствующие этим изменениям редкие элементы, как правило, представлены лишь таллием, галлием и бором, в то время как элементы-индикаторы грейзенового процесса (бериллий, тантал, ниобий, рубидий и др.) для них совершенно не характерны.

Качественно отличные изменения вмещающих пород предшествуют образованию свинцово-цинковых руд в типично близповерхностных условиях (Нерчинско-Заводский, Газимуро-Заводский районы). В карбонатных породах они обычно выражены в развитии зон гидротермально-метасоматических доломитов, которые практически стерильны в отношении редких элементов. Алюмосиликатные породы (глинистые сланцы, песчаники, порфириды) в эту стадию подверглись окварцеванию, а также незначительной серицитизации и хлоритизации, что привело к некоторому накоплению таллия и галлия в ореолах гидротермально измененных пород, оконтуривающих рудовмещающие структуры.

С уменьшением глубины формирования оруденения заметно меняется интенсивность и условия локализации самой ранней арсенопирит-пиритовой стадии сульфидного этапа минерализации. Наиболее полное развитие она получила лишь в отдельных рудных полях Кличкинского, Акатуевского и Кадаинско-Покровского рудных районов (Запокровское, Почекуевское, Алгачинское и др.), где процессы рудообразования протекали в трещинных структурах, не имеющих выхода на дневную поверхность. Специфической особенностью проявления этой стадии является отложение массивных арсенопиритовых руд с пиритом, кварцем и турмалином и их сравнительная обогащенность редкометалльными примесями. Так, например, ранние арсенопириты Сухаревского,

Домашевского, I Игнатовского и других месторождений Алгачинского рудного поля содержат 0,001—0,003% селена, 0,0002—0,0005% теллура, 0,0005—0,0008% индия и 0,025—0,035% серебра. Такие же количества указанных элементов установлены и в образовавшемся в эту стадию пирите. Повышенные концентрации редких элементов характерны и для мышьяково-колчеданных руд Запокровского рудного поля в Кадаинско-Покровском районе. Как отмечает Н. А. Читаева, в рудах Запокровского и Октябрьского месторождений арсенопирит несет повышенные количества селена (0,0013—0,0025%) и, пожалуй, самые высокие для Приаргунья концентрации теллура (0,0065—0,0250%), причем последний иногда образует микровключения собственных минералов.

В месторождениях близповерхностного генезиса, где характер рудовмещающих структур, по-видимому, был мало благоприятен для осаждения из высокотемпературных растворов таких легколетучих компонентов, как мышьяк, бор, селен, теллур и др., ранняя арсенопирит-пиритовая стадия или совершенно не проявлена (Газимуро-Заводский район) или получила весьма ограниченное распространение (Нерчинско-Заводский район). Связанные с нею минеральные ассоциации в месторождениях Нерчинско-Заводского района, как правило, не содержат арсенопирита и чаще всего представлены кварц-пиритовыми джаспероидами, образующими незначительные ореолы вокруг рудных тел. Анализ кристаллов пирита из джаспероидов Екатерино-Благодатского месторождения показывает, что селен и теллур в них обычно отсутствуют, а индий и серебро встречаются в количествах, почти не отличающихся от содержаний этих элементов в самых ранних пиритах из месторождений Алгачинского рудного поля.

Аналогичный комплекс редких элементов (селен, теллур, индий, серебро) сопровождает и следующую пирит-пирротиновую стадию минерализации. Однако и в эту стадию, характеризующуюся повсеместным распространением и более или менее стандартным составом руд, различие структурных условий рудообразования вызывает заметное изменение концентраций редких элементов. В районах относительно глубинного развития оруденения (Юличкинский, Кадаинско-Покровский и др.) главные минералы колчеданных руд — пирит и пирротин — обычно бедны индием (0,0003—0,0005%), серебром (0,001—0,003%) и теллуrom (0,0002—0,0003%), но содержат повышенную примесь селена (до 0,002—0,005%) (Мейтув, 1962; Читаева, 1962). Весьма характерно, что оба эти минерала в высокотемпературных месторождениях отличаются резким превышением концентраций селена над концентрациями теллура (5:1—10:1).

Совершенно иное соотношение концентраций редких элементов наблюдается в колчеданных рудах, сформировавшихся в условиях незначительных глубин (Нерчинско-Заводский, Газимуро-Заводский районы). В пирит-пирротиновых рудах месторождений близ-

поверхностного генезиса все большее значение получают индий (0,0005—0,0010), серебро (0,003—0,80%, и теллур (0,001—0,0035%), концентрации которых иногда возрастают по сравнению с концентрациями в глубинных месторождениях в 5—10 раз. Содержание селена остается при этом или неизменным, как, например, в месторождениях Нерчинско-Заводского района (0,002—0,004%), или же несколько понижается, что особенно характерно для пирита из месторождений Газимуро-Заводского района (0,0009—0,0030%). В этих двух районах отношение концентраций селена и теллура в пирите обычно составляет не более 2:1, а в ряде случаев меняется на обратное.

Изменение минерального состава руд в зависимости от структурных особенностей рудоносных площадей можно проследить и на примере более поздних стадий, с которыми связано образование главной массы галенит-сфалеритовых руд. Если сравнить состав галенит-сфалеритовых руд из однотипных, но расположенных в различных структурно-фациальных зонах месторождений северо-западного (Акатуевский район) и северо-восточного (Нерчинско-Заводский район) Приаргуны, то нельзя не заметить, что характер слагающих их парагенетических ассоциаций минералов, а также состав примесей в галените и сфалерите резко меняются с уменьшением глубины формирования месторождений.

В месторождениях Акатуевского района, где отложение этих руд происходило под покровом юрских эффузивно-осадочных толщ, мощность которых достигает 2—3 км (Козеренко, 1956), в составе галенит-сфалеритовых руд часто наблюдаются касситерит и халькопирит (последний иногда в ассоциации с кубанитом и валеритом), а среди жильных минералов и продуктов, сопутствующих этим стадиям околорудных изменений, преобладают турмалин, серицит и хлорит. Весьма специфический состав имеют здесь и примеси в главных минералах этих руд. Сфалериты, как правило, отличаются повышенными концентрациями кадмия (0,30—0,43%) и серебра (0,045%) при относительно низких содержаниях олова (0,025—0,050%), индия (0,0009—0,0230%) и галлия (0,0002—0,0010%), а галениты обогащены висмутом (0,005—0,015%), селеном (0,002—0,003%) и серебром (0,20—0,94%), но бедны теллуром («не обнаружено» — 0,0044%).

Качественно иным составом и более низкотемпературным характером отличаются галенит-сфалеритовые руды в типично близкоповерхностных месторождениях Нерчинско-Заводского района, образовавшиеся на глубине в несколько сотен метров. Основная масса меди в них связана в виде блеклых руд, в значительно больших количествах появляются сульфидные минералы олова (станнин, иногда франкеит) и сурьмы (буланжерит), а в жильной части руд заметно возрастает роль кварца и карбонатов, при одновременном уменьшении степени серицит-хлоритовых изменений. Существенно меняется и состав примесей в галените и сфа-

лерите. В первом из них основную роль играют таллий (0,0002—0,0200%), серебро (0,1150—0,5460%), а также сурьма и мышьяк (до 0,5%), в то время как концентрации висмута и селена понижаются до практически неуловимых; в сфалерите резко возрастает примесь олова (0,10—0,50%), индия (0,009—0,093%) и галлия (0,001—0,010%), но уменьшается содержание кадмия (0,17—0,25%) и серебра (0,029%).

Формирование свинцово-цинковых месторождений в различной структурной обстановке особенно сильно отразилось на масштабах и характере проявления заключительных стадий сульфидного этапа минерализации, несущих низкотемпературное свинцово-сурьмяно-мышьяковое оруденение. В отличие от руд ранних стадий, определяющих высокотемпературный облик месторождений глубинного генезиса, этот своеобразный тип руд получил распространение в тех районах, где процессы минерализации протекали или в типично близкоповерхностных условиях (Нерчинско-Заводский, Газмуро-Заводский районы), или в ослабленных тектонических зонах, способствующих развитию оруденения в юрских эффузивно-осадочных покровах (Акатуевский район).

По своему минеральному составу, а также по спектру сопутствующих редких элементов поздние свинцово-сурьмяно-мышьяковые руды весьма разнообразны. В одних районах среди них преобладают сложные сульфоантимонитовые руды, несущие повышенные концентрации те или иных редких элементов; в других районах они представлены простыми и практически стерильными в отношении редкометалльных примесей реальгар-аурипигментовыми или антимонитовыми минеральными ассоциациями (табл. 60). Не касаясь последних, представляющих в отношении редких элементов лишь чисто геохимический интерес, рассмотрим минералого-геохимические особенности поздних сульфоантимонитовых руд месторождений Нерчинско-Заводского и Акатуевского районов, образовавшихся в резко различных тектонических условиях.

Специфической особенностью сульфоантимонитовых руд, развитых в близкоповерхностных месторождениях Нерчинско-Заводского района, является их обогащенность индием и таллием, при высоких концентрациях серебра и кадмия и почти полном отсутствии селена и теллура. Однако даже в этом сравнительно небольшом районе отдельные рудные поля существенно отличаются как по составу главных компонентов поздних руд, так и по характеру сопутствующей им индиево-таллиевой минерализации.

Наиболее сложным составом сульфоантимонитовых руд выделяются месторождения, локализованные в сильно раздробленных и брекчированных участках Северной тектонической зоны. В месторождениях Смирновского рудного поля образование этих руд происходило из комплексных растворов, содержащих, кроме свинца, сурьмы и серы, значительные количества олова и мышьяка. Вследствие этого в Смирновском месторождении широко распространены

Сравнительная характеристика минералого-химического состава поздних свинцово-сурьмяно-мышьяковых руд из месторождений различных рудных районов Приаргунского свинцово-цинкового пояса

Рудный район	Рудное поле	Минеральный состав руд	Химический состав руд		
			Профилирующие элементы		Важнейшие редкие элементы
			минералообразующие	примеси	
Нерчинско-Заводский	Смирновское	Франкент-геокронит-булажжеритовые с галенитом	Pb, Sn, Sb, As, S	—	In, Tl, Cd, Ag
	Воздвиженско-Резановское	Тетраэдрит-теннантит-булажжеритовые с галенитом, бурнонитом и геокронитом	Cu, Pb, Sb, As, S	Sn	In, Tl, Cd, Ag
	Благodatское	Геокронит-галенитовые с булажжеритом	Pb, As, Sb, S	Sn, Cu	Tl, Ag
	Спасское, Михайловское	Булажжеритовые и булажжерит-бурнонитовые с галенитом	Pb, Cu, Sb, S	Sn, As	In, Cd, Ag
Акатуевский	Алгачинское	Булажжеритовые и булажжерит-бурнонитовые с галенитом	Pb, Cu, Sb, S	Sn	In, Cd, Ag, Se, Te, Bi
	Акатуевское	Булажжеритовые с галенитом	Pb, Sb, S	Sn, Cu	In, Cd, Ag, Se, Te, Bi
	Александрово-Заводское	Булажжеритовые с тетраэдритом и галенитом	Pb, Cu, Sb, S	Sn	In, Cd, Se, Ag, Te, Bi
Газимурово-Заводский	Ново-Широкинское	Реал, 6 гар-аурипигментовые и антимонитовые . .	As, Sb, S	—	—

оловянно-свинцовые руды франкент-геокронит-булажжеритового состава, отличающиеся ураганно высокими содержаниями индия во франкенте и булажжерите (0,10—0,60%) и повышенными концентрациями таллия в геокроните (0,01%).

Не менее сложный, по качественно иной химический состав имеют сульфоантимонитовые руды месторождений Ивановского и Воздвиженско-Резановского рудных полей. Характерной чертой этих руд является резкое падение концентраций олова, при одновременном возрастании в них роли меди и мышьяка, в связи с чем место франкента в указанных месторождениях занимают мышьяковые и сурьмяные блеклые руды и бурнонит, ассоциирующие с

геокронитом и буланжеритом. Понижение роли олова сопровождается заметным уменьшением содержания индия в буланжерите (Ивановское, Воздвиженское — 0,001—0,005%), в то время как таллий в тесной геохимической ассоциации со свинцом и мышьяком образует в геокронит-буланжеритовых рудах даже более высокие концентрации, чем в рудах Смирновского месторождения (Воздвиженское, Резановское — 0,02—0,05%).

Относительно просты, но, как правило, более дифференцированы в отношении редкометалльных примесей сульфоантимонитовые руды месторождений, тяготеющих к боковым ветвям Южной тектонической зоны. Как показано в табл. 60, в этих месторождениях преобладают два типа поздних руд: первый характеризуется резкой обогащенностью мышьяком и обедненностью медью и оловом (геокронитовые руды Екатерино-Благодатского месторождения), а второй — повышенными концентрациями меди и олова при ничтожно малых содержаниях мышьяка (буланжерит-бурнонитовые руды Спасского, Михайловского и других рудных полей). В соответствии с этим меняются и концентрации сопутствующих этим рудам редких элементов: геокронитовые руды являются важнейшим коллектором таллия (0,01—0,30%), но бедны индием (ниже 0,0005%), в то время как в буланжерит-бурнонитовых рудах часто встречаются довольно высокие концентрации индия (0,001—0,030%) при сравнительно низких содержаниях таллия (0,0001—0,0050%).

Резкие контрасты в химическом составе поздних сульфоантимонитовых руд, отмеченные для месторождений Нерчинско-Заводского района, почти совершенно не типичны для более глубинных месторождений Акатуевского рудного района. Во всех рудных полях, независимо от их положения в стратиграфическом разрезе, распространены очень простые буланжеритовые руды с бурнонитом или сурьмяными блеклыми рудами, исключительно бедные мышьяком, но несущие повышенную примесь висмута и олова. От аналогичных руд месторождений Нерчинско-Заводского района их отличает, с одной стороны, более обширный комплекс редкометалльных примесей, в частности, постоянное присутствие в буланжерите селена (0,002—0,006%), висмута (0,005—0,010%) и теллура (среднее 0,0004%), а с другой — меньшие количества таких элементов, как кадмий (0,005%), индий (0,003—0,005%) и особенно таллий («не обнаружен» — 0,002%).

Краткий обзор распространения и особенностей проявления отдельных стадий минерализации в важнейших рудных районах Приаргунского свинцово-цинкового пояса позволяет сделать некоторые выводы о поведении редких элементов в различных структурных условиях, характерных для периода рудообразования.

Во-первых, в зависимости от структурного положения рудоносных площадей и прежде всего от глубины развития минерализации и характера рудовмещающих структур резко меняется интен-

сивность проявления тех или иных стадий рудного процесса. Для месторождений значительных и умеренных глубин обычно характерен комплекс редких элементов, сопутствующих ранним стадиям минерализации (селен, теллур и др.), в то время как типично близповерхностные месторождения более богаты редкими элементами, проявляющими тенденцию накапливаться в остаточных порциях рудных растворов (таллий, серебро и др.).

Во-вторых, развитие процессов минерализации в условиях различных глубин приводит к существенным изменениям в геохимическом составе руд, отложенных в одни и те же стадии рудного процесса. За некоторыми исключениями, обусловленными местными особенностями рудовмещающих структур, относительно глубинные образования, как правило, более благоприятны для осаждения таких элементов, как селен, висмут и кадмий, тогда как отложение тех же руд в близповерхностных условиях часто способствует их обогащению теллуrom, индием, галлием, таллием и серебром.

В-третьих, при уменьшении глубины формирования руд резко снижается интенсивность проявления алюмосиликатных околорудных изменений. В свою очередь это весьма благоприятно сказывается на поведении таллия и галлия, которые в глубинных условиях обычно претерпевают рассеяние в жильной части руд и измененных породах, а в близповерхностных образованиях чаще всего концентрируются в сульфидных минералах.

Поведение редких элементов в различных окислительно-восстановительных условиях

Структурные условия локализации оруденения являются одним из решающих внешних факторов, определяющих химизм процессов гидротермального рудообразования. В зависимости от глубины формирования месторождений, их положения в стратиграфическом разрезе и характера рудовмещающих структур резко меняются окислительно-восстановительные условия отложения руд, которые, как известно, оказывают большое влияние на процессы концентрации и рассеяния редких элементов.

Разделение редких элементов в процессах гипогенного минералообразования вследствие различного влияния на их поведение окислительно-восстановительного потенциала среды можно видеть на примере германия. В окислительных условиях он участвует в сульфидном процессе как четырехвалентный элемент, и как аналог кремния обычно рассеивается среди силикатов, в то время как в восстановительных средах он переходит в двухвалентное состояние и концентрируется в сульфидах цинка или же образует собственные минералы (Гинзбург, 1961).

Однако в эндогенных условиях пределы колебаний окислительно-восстановительной способности растворов, как правило, сильно

сужены, что создает весьма ограниченные возможности образования ионов различных валентностей (Mason, 1949; Бетехтин, 1950). Поэтому многие редкие элементы в сульфидном процессе не меняют свою валентность, но вследствие различной степени их химического сродства с серой или кислородом резко реагируют на изменение физико-химических условий образования руд. В близповерхностных условиях, где присутствие свободного кислорода обуславливает высокий окислительный потенциал растворов, многие из них (индий, кадмий, таллий и др.) могут претерпевать широкое рассеяние в жильной части руд и во вмещающих породах, тогда как в более глубоких условиях или в специфических условиях замкнутых трещинных структур, предопределяющих восстановительную обстановку рудоотложения, те же самые элементы будут накапливаться в сульфидных минералах.

Рассмотрим поведение редких элементов в различных рудных полях Приаргунья, резко отличающихся друг от друга структурной позицией свинцово-цинковых месторождений.

Свинцово-цинковые месторождения Ново-Широкинского рудного поля (Газимуро-Заводский район) приурочены к ослабленной тектонической зоне в массиве андезито-диабазовых порфиритов верхней юры. Положение этих месторождений в верхнем структурном ярусе мезозоя обусловило развитие в них типично низкотемпературной минерализации, характеризующейся широким проявлением реальгар-аурипигментовых и антимонитовых образований, колломорфных текстур руд и минеральных ассоциаций, указывающих на резко окислительную обстановку отложения руд.

Среди ранних парагенетических ассоциаций минералов, отложение которых, очевидно, соответствует образованию пирит-пирротиновых руд Южного Приаргунья, преобладают кварц-железистые агрегаты, в которых железо представлено или пиритом, или же высшим его окислом — гематитом, что свидетельствует о формировании этих руд в условиях высокого парциального давления кислорода. Окислительная обстановка, сопровождающая отложение ранних руд, сохраняется и на более поздних стадиях минералообразования. Подтверждением этого является частая ассоциация сфалерита с магнетитом, а также крайне необычное для свинцово-цинковых месторождений Восточного Забайкалья резкое преобладание галенита над сфалеритом. По мнению А. Г. Бетехтина (1953), это возможно лишь в условиях окисления анионов S^{2-} до комплексного аниона $(SO_4)^{2-}$, когда значительная часть цинка в виде легкорастворимых сульфатов мигрирует из мест осадения сульфидов. Однако тот факт, что ассоциация пирит-гематит, характерная для ранних стадий, в галенит-сфалеритовых рудах сменяется ассоциацией пирит-магнетит (при резко повышенной роли пирита), свидетельствует о формировании галенит-сфалеритовых руд в более восстановительной среде, чем среда формирования кварц-гематит-пиритовых руд.

Отложение руд Ново-Широкинского месторождения в обстановке высокого кислородного потенциала определило широкое рассеяние таких элементов, как таллий, галлий, индий и кадмий, и вместе с тем наложило своеобразный отпечаток на поведение селена и теллура.

Как показывают имеющиеся в нашем распоряжении анализы, а также данные И. П. Златогурской, детально изучавшей поведение редких элементов в рудах Ново-Широкинского месторождения, почти вся масса таллия и галлия здесь рассеивается во вмещающих породах, в то время как их содержание в рудах и сульфидных минералах падает до ничтожно малых значений. В большинстве проанализированных проб галенита и сфалерита содержание этих элементов обычно не превышает 0,0001%, и только в колломорфных выделениях пирита количества таллия иногда достигают 0,001%. Что касается соотношения их концентраций в рудах и вмещающих породах, то, по данным И. П. Златогурской, содержания галлия в них примерно равны (0,0001—0,001% в результате обильного развития хлорита), а таллий при полном отсутствии в рудах выносится во вмещающие породы, где его содержание в измененных разностях порфиритов иногда достигает 0,0003—0,0010%.

Окислительные условия образования руд явно не способствовали и накоплению другой пары редких элементов — индия и кадмия. Содержание этих элементов в сфалерите Ново-Широкинского месторождения является, пожалуй, наиболее низким из всех свинцово-цинковых месторождений Восточного Забайкалья: индий 0,0006—0,003% (очень редко 0,01%), кадмий 0,05—0,16%. Пониженный фон индиенности и кадмиенности сфалерита этого месторождения можно было бы отнести за счет первичной обедненности руд этими элементами.

Однако анализы, выполненные И. П. Златогурской, указывают на широкую миграцию индия и кадмия во вмещающие породы. Так, содержание индия во вмещающих порфиритах в 100—300 раз выше его средних кларковых значений и часто является более высоким, чем в рядовых рудах. Еще более ярко проявилось рассеяние кадмия, содержание которого во вмещающих породах достигает 0,003—0,050%, т. е. иногда превышает его кларк в земной коре в 1000 раз, тогда как в рудах его количества чаще всего колеблются в пределах 0,001—0,003%.

Совершенно по-иному ведут себя в этих условиях селен и теллур. Для теллура, обладающего способностью к накоплению в условиях повышенного кислородного потенциала (Гармаш, 1960), характерно вхождение главным образом в ранние пириты, тогда как селен, окисляющийся с большим трудом по сравнению с серой, в больших количествах встречается в галените полиметаллической стадии. В связи с этим соотношение концентрации селена и теллура в различных минералах существенно меняется. Так, для пирита Ново-Широкинского месторождения, образующегося в резко окис-

слительных условиях, как правило, характерно превышение содержания теллура над селеном ($\text{Te } 0,0009\text{—}0,0030\%$; $\text{Se } 0,0007\text{—}0,0010\%$), что довольно редко встречается в месторождениях Восточного Забайкалья. В галените, кристаллизующемся, очевидно, в менее окислительной обстановке, это соотношение меняется на обратное ($\text{Te } 0,0005\%$; $\text{Se } 0,0022\%$). При этом частое присутствие следов селена и теллура во вмещающих породах указывает на их частичную миграцию из сферы рудообразования.

Процессы рассеяния редких элементов, обусловленные высоким окислительным потенциалом среды, в значительно меньшей степени проявлены в свинцово-цинковых месторождениях Алгачинского рудного поля. Образование руд здесь происходило в нижнем структурном этаже мезозоя, в зонах смятия среди песчаников и сланцев нижней-средней юры или вдоль тектонического контакта последних с палеозойскими известняками. Все эти породы в момент рудообразования, по-видимому, были перекрыты толщей верхнеюрских осадочно-эффузивных пород, что определило более высокотемпературный характер оруденения, чем в месторождениях Широкинского рудного поля, и вместе с тем резко снизило кислородный потенциал рудообразующих растворов.

Оруденение в Алгачинском рудном поле формировалось при переменном значении окислительно-восстановительного потенциала среды. Отложение ранних колчеданных руд характеризуется образованием пирита и арсенопирита, при подчиненном, но в ряде случаев (Покровское месторождение) значительном развитии пирротина, а также резким превышением концентраций селена над концентрациями теллура (табл. 61). Отражая, очевидно, повышенный восстановительный потенциал среды, содержание селена в пирите месторождений Алгачинского рудного поля обычно составляет $0,002\text{—}0,004\%$, в то время как содержание теллура в них колеблется в пределах $0,0003\text{—}0,0005\%$, т. е. примерно в 10 раз ниже концентрации селена.

Отложение свинцово-цинковых руд, протекавшее на фоне интенсивного трещинообразования, началось в условиях относительно высокого парциального давления кислорода выделением кварца и касситерита. В ряде месторождений (Смежное и др.) эти условия сохранились и к моменту отложения сфалерита, который в этом случае встречается в ассоциации с касситеритом и пиритом; в других месторождениях (Покровское, Алгачинское и др.) выделение сфалерита происходило в более восстановительной среде и сопровождалось сульфидизацией касситерита и образованием в сфалерите твердого раствора пирротина и станина. Эти различия сказались и на поведении редких элементов, сопутствующих сфалериту. В первом случае индий частично рассеивается в касситерите и, возможно, во вмещающих породах, в связи с чем его концентрация в сфалерите обычно не превышает $0,006\%$, тогда как во втором случае главная его масса накапливается в сфалерите ($0,010\text{—}0,023\%$).

Содержание редких элементов в важнейших рудных минералах свинцово-цинковых месторождений Газимуро-Заводского, Акатуевского и Нерчинско-Заводского районов (в %)

Рудный район	Характерные парагенетические ассоциации минералов	Минералы-носители	Селен	Теллур	Индий	Кадмий	Галлий	Таллий	Серебро
Газимуро-Заводский (Широкинское рудное поле)	Кварц-пирит-гематит	Пирит	0,0007— 0,0010	0,0009— 0,0030	—	—	—	—	?
	Сфалерит-пирит-магнетит	Сфалерит	—	—	0,0006— 0,0030	0,050— 0,160	Ниже 0,0001	—	?
	Галенит-анкерит-кварц	Галенит	0,0022—	0,0005	—	?	—	Ниже 0,0001	?
Акатуевский (Алгачинское рудное поле)	Пирит-арсенипирит (редко пирротин)	Пирит	0,0020— 0,0040	0,0003— 0,0005	—	—	—	—	0,0210— 0,1377
	Сфалерит-касситерит-пирит	Сфалерит	—	—	0,0009— 0,0060	0,300— 0,360	0,0002— 0,0012	—	0,0120— 0,0150
	Сфалерит-пирротин-станнин	»	—	—	0,0100— 0,0230	0,340— 0,430	0,0002— 0,0012	—	0,0250— 0,0690
	Галенит-булаежрит-самородное серебро	Галенит	0,0026	0,0004	—	0,010— 0,015	—	0,0003— 0,0040	0,2000— 0,9400
	Пирротин-пирит	Пирит	0,0022— 0,0043	Не обн. 0,0030	0,0008— 0,0010	—	—	—	0,0174— 0,0433
Нерчинско-Заводский (Благодатское рудное поле и др.)	Кварц-пирит	»	0,0020— 0,0035	0,0010— 0,0035	0,0002— 0,0007	—	—	—	0,0030— 0,0345
	Сфалерит-пирротин-станнин	Сфалерит	—	—	0,0600— 0,0930	0,180— 0,210	0,0030— 0,0049	—	0,0310— 0,0760
	Сфалерит-пирит	»	—	—	0,0170— 0,0450	0,170— 0,250	0,0060— 0,0075	—	0,0180— 0,0270
	Сфалерит-пирит-касситерит	»	—	—	0,0090— 0,0160	0,170— 0,220	0,0020— 0,0060	—	0,0130— 0,0220
	Галенит-самородное серебро	Галенит	Не обн.	Сл. 0,0010	—	0,001— 0,006	—	0,0002— 0,0050	0,3300— 0,4360
	Галенит-барит	»	» »	0,0020 0,0050	—	0,001— 0,006	—	0,0050— 0,0200	0,2000— 0,2500

Содержание кадмия в сфалерите первого типа месторождений составляет 0,30—0,36%, а серебра 0,012—0,015%, а во втором типе — соответственно 0,34—0,43% и 0,025—0,069%. Примерно так же ведет себя в одинаковых литологических условиях и галлий, концентрация которого в сфалерите в данном случае колеблется от 0,0002 до 0,0012%.

Таким образом, независимо от локальных колебаний окислительно-восстановительного потенциала среды, обуславливающих изменение концентраций редких элементов в отдельных месторождениях, их содержание в сфалеритах Алгачинского рудного поля во всех случаях более высокое, чем в сфалеритах близповерхностных месторождений Широкинского рудного поля.

Ряд фактов, в частности, ассоциация галенита с самородным серебром, обильное выпадение буланжерита и др., свидетельствуют о том, что восстановительная обстановка сопутствовала выпадению из растворов поздних свинцово-сурьмяных соединений. Поэтому алгачинские галениты по сравнению с широкинскими обычно богаче теллуром (0,0003—0,0040%), хотя, как будет показано ниже, в определенных литологических условиях процессы рассеяния теллура в этом районе проявились очень интенсивно. Галениты Алгачинского рудного поля, как и более поздние сульфосоли свинца, несут повышенные концентрации селена (0,0026%) и резко обеднены теллуром (0,0004%). Следы теллура часто обнаруживаются во вмещающих песчаниках и сланцах, что подтверждает вывод о его частичной миграции в восстановительных средах. И, наконец, необходимо отметить некоторую специфику поведения в галените серебра. При общих довольно высоких концентрациях, этот элемент в наибольших количествах встречается в галените Покровского, Алгачинского и Игнатовского месторождений (0,517—0,940%), характеризующихся более восстановительными условиями образования свинцово-цинковых руд, в то время как в месторождениях Сопки Бараньей и Смежном его содержание в галените не превышает 0,20—0,30%.

Свинцово-цинковые месторождения Нерчинско-Заводского района представляют резкий контраст в отношении окислительно-восстановительных условий образования руд. Как уже отмечалось, месторождения этого района приурочены к нижнему структурному этажу, перекрытому в период оруденения лишь маломощной толщей континентальной юры (Козеренко, 1956). В этом районе проявилось типично низкотемпературное оруденение, избилующее различными сульфоантимонитами свинца с признаками метаколлоидного образования. Руды формировались в различных по своему характеру трещинных структурах, от зияющих зон брекчий до затухающих к поверхности трещин разрыва, что обусловило широкое колебание окислительно-восстановительных способностей растворов как в пределах всего района, так и в одних и тех же месторождениях.

В отличие от Алгачинского и Широкинского рудных полей, где процесс рудообразования начался в обстановке сравнительно высокого окислительного потенциала среды, формирование ранних колчеданных руд в месторождениях Нерчинско-Заводского района протекало в резко различных окислительно-восстановительных условиях. В замкнутых трещинных системах, предопределивших развитие слепых рудных тел, иногда экранируемых чехлом глинистых сланцев, происходило массовое выпадение пирротина (Ивановское, Центральное), что свидетельствует о восстановительных условиях рудообразования. В этих условиях в пирите и пирротине накапливался селен (0,0022—0,0043%) и теллур («не обнаружен» — 0,0030%), а также концентрация индия, количество которого в этих минералах нередко составляет 0,0008—0,0010%.

Кристаллизация ранних руд в зонах брекчий (Воздвиженское) или в участках сильно раздробленных карбонатных пород (Спасское, Октябрьское, Екатерино-Благодатское и др.), способствующих окислению аниона S^{2-} до спаренного аниона $(S_2)^{2-}$, характеризуется массовым выпадением пирита при резко подчиненной роли или полным отсутствии пирротина. В некоторых месторождениях (Октябрьское, Воздвиженское, Екатерино-Благодатское) отмечается снижение в пирите содержания селена и повышение концентрации теллура, в связи с чем их количества в раннем пирите почти идентичны (табл. 61). Однако резкие контрасты в изменении концентраций селена и теллура при смене окислительно-восстановительных условий образования руд в этом районе наблюдаются очень редко.

В различных физико-химических условиях началось и протекало отложение сфалерит-галенитовых руд. Образованию их в одних месторождениях (Ивановское) предшествовало массовое выделение сидерита, в других (Октябрьское, Спасское) — кварц-касситеритовых агрегатов и, наконец, в третьих (Воздвиженское, Благодатское, Екатерино-Благодатское, Цагайно-Воздаянское) — кварц-пиритовой ассоциации минералов. Последующее отложение сфалерита, как правило, протекало в более восстановительных условиях, но при разных значениях окислительного потенциала растворов. В ряде месторождений (Центральном, Благодатском, Цагайно-Воздаянском и др.) главная масса сфалерита выделялась в резко восстановительных условиях в ассоциации с пирротинном и стanniном, причем, как показывают анализы (табл. 62), почти все олово оказалось связанным в сульфидной форме. Эти сфалериты заметно обогащены индием (0,06—0,093%) и серебром (0,031—0,076%), а при залегании месторождений в карбонатных породах — и галлием (Центральное, Благодатское — 0,003—0,0049%).

В большинстве месторождений (Воздвиженское, Екатерино-Благодатское и др.) сфалерит не несет включений пирротина и встречается в тесном парагенезисе с пиритом. В этих месторождениях содержание индия и серебра в сфалерите заметно уменьша-

Содержание сульфидного и окисного олова в сфалеритах месторождений Нерчинско-Заводского и Акатуевского районов

Месторождение	Среднее содержание олова, %			Месторождение	Среднее содержание олова, %		
	сум-марное	суль-фидное	окис-ное		сум-марное	суль-фидное	окисное
Нерчинско-Заводский район				Акатуевский район (Алгачинское рудное поле)			
Цагайно-Воз- даянское . . .	0,297	0,294	0,003	Покровское	0,124	0,124	Не обн.
Благодатское	0,158	0,158	Не обн.	Домашевское	0,035	0,015	0,020
Центральное	0,246	0,244	0,002	Игнатовское	0,025	0,010	0,015
Ивановское	0,158	0,070	0,088	Алгачинское	0,057	0,038	0,019
Воздвиженское	0,147	0,130	0,017	Смежное . . .	0,035	Не обн.	0,035
Екатерино- Благодатское	0,397	0,367	0,030	Сопка Баранья	Не обн.	—	—
Спасское . . .	0,370	0,257	0,043				
Октябрьское	0,348	0,309	0,039				

Примечание. В таблице приведены данные о содержании олова в наиболее ранних генерациях сфалерита. Чувствительность определения 0,001%.

ется (индий до 0,017—0,045%, серебро до 0,018—0,027%). Особенно низкими концентрациями этих элементов отличаются сфалериты Октябрьского и Спасского месторождений, отложение которых в основном протекало в условиях повышенного парциального давления кислорода. Несмотря на локально проявленные признаки интенсивной сульфидизации раннего касситерита, в большинстве рудных тел этих месторождений сфалерит встречается в ассоциации с пиритом и касситеритом и, как правило, характеризуется повышенным содержанием окисного олова. Поэтому сфалериты Спасского и Октябрьского месторождений обычно бедны индием (0,009—0,016%) и содержат минимальные для руд Нерчинско-Заводского района количества серебра (0,013—0,022%).

Изменение окислительно-восстановительных условий осаждения сфалерита, по-видимому, не оказало существенного влияния на содержание в нем кадмия, концентрация которого в различных месторождениях района меняется в очень незначительных пределах. Несмотря на более восстановительную обстановку образования сфалеритов в месторождениях Нерчинско-Заводского района, количество кадмия в них примерно в два раза ниже, чем в сфалеритах Алгачинского рудного поля, и лишь немного выше, а иногда и равно концентрациям кадмия в сфалеритах Широкинского рудного

поля. Следовательно, окислительно-восстановительный потенциал среды не является, очевидно, единственным и тем более решающим фактором, определяющим выпадение кадмия из растворов. Вполне возможно, что большую роль играют температура, режим кислотности и щелочности растворов. Влияние окислительно-восстановительного потенциала в условиях Нерчинско-Заводского района трудно рассматривать применительно к галлию, на поведение которого, как будет показано ниже, большое влияние оказывает характер литологии вмещающих пород.

В заключение коротко остановимся на поведении редких элементов в поздних минеральных ассоциациях месторождений Нерчинско-Заводского района — в галените и сульфосолях свинца. Общая тенденция к разделению редких элементов в зависимости от влияния окислительно-восстановительного состояния растворов в какой-то степени проявлена и на поздних стадиях образования руд. Это подтверждается поведением в галените и буланжерите таких элементов, как селен и теллур. При постоянном превышении концентраций селена над теллуrom в ранних минеральных ассоциациях галенит и сульфосоли свинца, как правило, почти стерильны в отношении селена, а содержание теллура в них достигает высоких значений (0,0008—0,0050 %) в образцах, замещающих пирит.

Таким образом, и в данном случае мы наблюдаем накопление теллура в условиях относительно высокого окислительного потенциала, обусловленного переходом в раствор спаренных анионов (S_2)²⁻. О понижении восстановительного потенциала к моменту отложения галенита свидетельствует заметное падение концентраций кадмия и индия в поздних сфалеритах, миграция селена и, что особенно важно, частый парагенезис галенита и геокронита в Екатерино-Благодатском месторождении с баритом, содержащим выщипанный продукт окисления серы — комплексный анион (SO_4)²⁻, устойчивый лишь в явно окислительных условиях (Бетехтин, 1953).

Обстановка образования галенитов и сульфосолей свинца в различных месторождениях района не оставалась постоянной, на что указывает их ассоциация в одних случаях с самородным серебром (Ивановское, Цагайно-Воздаянское), а в других — с баритом (Екатерино-Благодатское). Это же следует и из анализа поведения в них редких элементов. Галениты и сульфосоли свинца Ивановского и Цагайно-Воздаянского месторождений, образовавшиеся в менее окислительных условиях, обеднены по сравнению с другими месторождениями теллуrom (следы — 0,001 % против 0,002—0,005 %), но всегда более богаты серебром, а сульфосоли свинца также и индием. Так, в указанных месторождениях среднее содержание серебра в галените составляет 0,330—0,436 % и в буланжерите — 0,105—0,304 %, в то время как его концентрация в галените Екатерино-Благодатского и Воздвиженского месторождений не превышает 0,20—0,25 %, а в геокроните, ассоциирующем с баритом, равна всего лишь 0,05 %.

Таким образом, в зависимости от структурной позиции рудных полей, а в пределах последних — в связи с различным характером рудовмещающих структур происходит резкое колебание окислительно-восстановительного потенциала растворов, существенно отражающееся на концентрациях и поведении редких элементов. Селен, индий, серебро и, возможно, кадмий в больших количествах накапливаются в восстановительных средах, тогда как в тех же минералах, но образующихся в более окислительных условиях, они частично рассеиваются; другие элементы, например теллур, предпочтительнее накапливаются в окислительных средах. В одинаковых литологических условиях аналогично ведут себя галлий и таллий, которые в резко окислительной обстановке могут полностью рассеиваться во вмещающих породах, а в восстановительных средах — накапливаться в сульфидных минералах. Следовательно, для большинства редких элементов, сопутствующих свинцово-цинковым рудам, при прочих равных условиях восстановительная обстановка рудоотложения благоприятствует их осаждению в сульфидных минералах.

Поведение редких элементов при кристаллизации руд из истинных и коллоидных растворов

В геохимических работах последних лет все чаще встречаются указания на то, что содержание некоторых редкометалльных примесей резко возрастает в тех минералах, которые несут следы коллоидального происхождения. Так, Н. М. Прокопенко и др. (1953), В. В. Ивановым (1960), Г. Н. Комаровой и Л. Е. Новороссовой (1959) и другими исследователями наибольшие концентрации индия, достигающие иногда 1,35%, установлены в минералах олова (деревянистое олово, цилиндрит, франкеит, тиллит и др.), образовавшихся при разложении геля. Аналогичные факты отмечаются (Schroll, 1953; Иванов и др., 1960; Тихомирова, 1960 и др.) и в отношении таллия, который, будучи, например, мало характерным элементом для кристаллических разновидностей пирита и сфалерита, часто накапливается в колломорфных дисульфидах железа и скорлуповатых цинковых обманках.

Одним из важнейших факторов, определяющих состояние растворов в процессе рудоотложения и, следовательно, поведение присутствующих в них редких элементов, являются структурные условия формирования руд. Изучение свинцово-цинковых месторождений Восточного Забайкалья показывает, что в зависимости от структурного положения месторождений и глубины их образования кристаллизация руд, связанных с одними и теми же стадиями минерализации (особенно самыми поздними), может происходить как из истинных, так и из коллоидных растворов. В связи с этим могут резко меняться и концентрации редких элементов в идентичных по

своему минеральному составу парагенетических ассоциациях минералов.

Чтобы подтвердить это заключение, рассмотрим поведение редких элементов в поздних сульфоантимонитовых рудах Алгачинского рудного поля и Нерчинско-Заводского района.

Как уже отмечалось, месторождения Алгачинского рудного поля формировались в спокойных тектонических условиях умеренных глубин. В этой обстановке, по-видимому, происходила медленная кристаллизация свинцово-сурьмяных руд из водных порций растворов с образованием полнокристаллических разностей буланжерита и галенита, не несущих ни малейших признаков коллоидального происхождения. Выпадение минеральных масс из истинных растворов в условиях медленно понижающейся температуры наложило специфический отпечаток на распределение и концентрации многих редких элементов.

Для таких элементов, как, например, индий, кадмий, селен и теллур, характерны исключительно равномерные концентрации, как бы снивелированные не только в пределах одних и тех же месторождений, но и всего района (табл. 63). Так, в буланжеритах

Таблица 63

Содержание редких элементов в буланжеритах месторождений Алгачинского рудного поля и Нерчинско-Заводского района (в %)

Элемент	Алгачинское рудное поле	Нерчинско-Заводский район
Индий . .	0,0030—0,0250	0,0006—0,1000
Кадмий . .	0,0050—0,0100	Не обн. — 0,0260
Селен . . .	0,0027—0,0058	Не обн.
Теллур . .	0,0004—0,0010	Не обн.— редко 0,001
Таллий . .	Не обн. — 0,0020	0,0001—0,1000

из различных месторождений Алгачинского рудного поля содержание селена обычно не превышает 0,0027—0,0058%, а количества входящих в него теллура и кадмия, как правило, еще более устойчивы и составляют для большинства месторождений соответственно 0,0004 и 0,005%. В более широких пределах варьирует содержание индия в буланжерите. Однако, как будет показано ниже, эти колебания вскрываются лишь при сравнении индиенности буланжеритов различных месторождений, тогда как в одних и тех же рудных телах содержание индия в буланжерите постоянно и составляет, например, для I Игнатовского месторождения 0,005%, а для Покровского и III Игнатовского — около 0,003%.

Для таллия, так же как и для ранее рассмотренных элементов, в буланжеритах Алгачинского рудного поля типичны довольно устойчивые концентрации, колеблющиеся в отдельных месторождениях в пределах десяти-пятисотых долей процента. Однако, сравнивая эти концентрации таллия с его концентрациями в буланжеритах из месторождений Нерчинско-Заводского района, можно сказать, что кристаллизация сульфoантимонитовых руд из истинных растворов в значительной степени способствует рассеянию таллия во вмещающих породах. Благодаря повышенной активности водных растворов по сравнению с коллоидными, отложение буланжерита в месторождениях Алгачинского рудного поля обычно сопровождается процессами серицитизации вмещающих пород, вследствие чего часть таллия претерпевает рассеяние в околосильных серицитовых оторочках, а его содержание в буланжерите понижается по сравнению с колломорфными разностями этого минерала в 50—100 раз и составляет 0,0001—0,0005 %.

Совершенно иное распределение редких элементов характерно для сульфoантимонитовых руд из месторождений Нерчинско-Заводского района. Образование этих руд в типично близповерхностных условиях, при сильном снижении внешнего давления и быстром спаде температуры, приводит к резкому нарушению химических равновесий и появлению коллоидных растворов, чрезвычайно затрудняющих диффузию ионов и обменные реакции с вмещающими породами (Бетехтин, 1957). В месторождениях этого района в позднюю сульфoантимонитовую стадию наблюдается локальное развитие колломорфных структур руд, а также большая неравномерность концентраций редких элементов в сочетании с накоплением аномально высоких содержаний индия и таллия в метаколлоидных выделениях сульфосолей свинца.

Примером поглощения индия колломорфными образованиями могут служить низкотемпературные сульфoантимонитовые руды Смирновского месторождения. Согласно данным О. П. Поляковой (1957), в поздних рудах этого месторождения широко распространены тонкозернистые концентрически зональные метаколлоидные агрегаты, представляющие собой продукты раскристаллизации гелей, близких по своему составу к содержащимся в рудах сульфостаннатам и сульфoантимонитам свинца. Анализируя минералы, входящие в состав этих агрегатов, О. П. Полякова установила исключительно высокие концентрации индия в колломорфном фракменте (до 0,6 %), а также в образовавшихся в результате его разложения мелкозернистых выделениях касситерита и буланжерита (до 0,10 %). Подобные концентрации индия в позднем сульфoантимонитовом комплексе представляют большую редкость; в данном случае их образование, несомненно, обусловлено повышенной сорбционной способностью коллоидов.

В сульфoантимонитовых рудах изученных нами месторождений Нерчинско-Заводского района колломорфные образования обычно

не имеют столь широкого распространения, как в Смирновском. Они наблюдаются не повсеместно, а лишь в локальных участках зон брекчирования (Ивановское, Воздвиженское и др.) или в сильно трещиноватых карбонатных породах (Спасское, Октябрьское, Екатерино-Благодатское и др.), т. е. в структурах, обуславливающих резкий перепад давления и температуры растворов. В этих же месторождениях, нередко в непосредственном срастании с колломорфными выделениями буланжерита и геокронита, встречаются прекрасно раскристаллизованные разновидности этих минералов, представляющие собой или производные истинных растворов, или продукты перекристаллизации колломорфных образований. Ряд признаков (приуроченность к тем же структурам, повышенная пористость сульфосолей, проявление в ассоциирующих с ними минералах трещин усыхания и т. п.), скорее всего, свидетельствуют в пользу второго предположения.

Независимо от происхождения кристаллических разностей сульфосолей свинца, содержание в них редких элементов (индия, таллия и кадмия) всегда является более низким, чем в тех же минералах колломорфного облика. В связи с этим содержание указанных элементов в таких минералах, как буланжерит, геокронит и бурнонит, в месторождениях Нерчинско-Заводского района отличается крайней неравномерностью, а общий фон их концентраций в сульфоантимонитовых рудах, как правило, резко повышен по сравнению с месторождениями Алгачинского района.

В предыдущей главе мы отметили, что содержание индия в буланжерите и бурноните одних и тех же месторождений Нерчинско-Заводского района иногда меняется в 10—20 раз и максимально высокие его концентрации, достигающие 0,01—0,10%, характерны именно для кристоллических выделений этих минералов. В этих же пределах колеблется в сульфоантимонитах свинца и содержание таллия; например, в буланжеритах месторождений Спасской гор оно возрастает с 0,0004—0,005% в крупнокристаллических выделениях до 0,01—0,10% в метаколлоидных образованиях, а в геокроните Екатерино-Благодатского месторождения — с 0,02—0,03% (в крупнокристаллических) до 0,1—0,3% (в мелкозернистых) образованиях. Характерно, что при определенном антагонизме индия и таллия, в кристаллических разностях буланжерита часто отмечаются резко повышенные концентрации этих элементов в одних и тех же образцах колломорфного облика.

Не так рельефно, но совершенно отчетливо роль коллоидов сказывается и на поведении кадмия. Известна связь повышенных концентраций кадмия с концентрически зональными метаколлоидными разностями вюртцита в Пришибраме (Бетехтин, 1950) и метаколлоидными выделениями вюртцита и скорлуповатой цинковой обманки из близповерхностных свинцово-цинковых месторождений Грузии — Камышло, Хвамли и др. (Иваницкий и Гварамадзе,

1960), в поздних сульфoантимоновых рудах, как правило, встречаются остаточные, чаще крайне незначительные концентрации кадмия. Однако, как видно из сравнения его содержаний в буланжеритах Алгачинского рудного поля и Нерчинско-Заводского района (см. табл. 63), прохождение растворами стадии гелеобразного состояния приводит к некоторому накоплению кадмия в сульфoантимонитах свинца. В связи с этим колломорфные буланжериты и бурнониты Нерчинско-Заводского района обычно в два раза богаче кадмием (0,01—0,025%), чем буланжериты Алгачинского рудного поля (0,005%), хотя в сфалеритах этих районов, являющихся как бы своеобразным индикатором степени кадмиеносности руд, соотношение концентраций кадмия является обратным.

Важным аргументом в пользу сорбции кадмия в процессе раскристаллизации гелей является и следующее обстоятельство. Исходя из тесной геохимической связи кадмия со свинцом, следовало бы ожидать, что галениты всегда будут богаче кадмием, чем менее свинцовистые минералы группы сульфосолей. При кристаллизации руд из истинных растворов такое соотношение нередко соблюдается. Так, в месторождениях Алгачинского рудного поля галениты содержат большие количества кадмия (0,010—0,015%) по сравнению с буланжеритами (0,005%). Однако такое соотношение концентраций кадмия в галените и сульфосолях свинца совершенно не характерно для месторождений Нерчинско-Заводского района. При среднем содержании кадмия в галените 0,001—0,005% его количества в колломорфных разностях буланжерита здесь достигают сотых долей процента, т. е. примерно в 10 раз выше, чем в галените, а в кристаллических выделениях буланжерита удерживаются на том же уровне, что и в Алгачинском рудном поле.

Неясным остается поведение в коллоидных растворах таких элементов, как селен и теллур. Судя по литературным данным (Синдеева, 1959 и др.), а также приведенным выше материалам о распространении селена и теллура в месторождениях Восточного Забайкалья, ни тот, ни другой элемент обычно не проявляет тенденции к накоплению в метаколлоидных образованиях. Более того, для их осаждения, по-видимому, наиболее благоприятны истинные растворы, кристаллизующиеся в условиях замкнутых трещинных систем, в то время как в структурах, способствующих образованию коллоидов, селен и теллур вследствие повышенной летучести связываются в ранних минеральных ассоциациях или претерпевают рассеяние еще до перехода растворов в коллоидальное состояние.

Таким образом, поведение редких элементов в поздних сульфoантимоновых рудах Восточного Забайкалья в значительной степени определяется глубиной формирования месторождений и типом рудовмещающих структур. Образование сульфoантимоновых руд в относительно глубинных условиях, в структурах, затухающих по направлению к поверхности, обуславливает выпадение редких эле-

ментов из водных растворов и приводит к широкому рассеянию таллия, образованию равномерных и умеренно высоких концентраций индия и кадмия, накоплению селена и теллура в сульфоантимонитах свинца. Развитие оруденения в близповерхностных условиях, особенно в зонах брекчирования, способствует образованию коллоидных растворов, что в свою очередь вызывает резкое обогащение сульфоантимонитов свинца таллием, индием и кадмием при относительной обедненности их селеном и теллуrom.

ЗАВИСИМОСТЬ ПОВЕДЕНИЯ РЕДКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ОТ СОСТАВА РУДОВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД

При образовании сульфидных руд химический состав и физико-химическое состояние гидротермальных растворов во многом зависят от состава рудовмещающих пород. При активном взаимодействии рудообразующих растворов с различными по составу боковыми породами в одних случаях, как, например, в карбонатных толщах, растворы обогащаются кальцием, магнием и углекислотой, в других же, как это имеет место в алюмосиликатной среде, из вмещающих пород заимствуются щелочи, глинозем, кремнекислота и другие составляющие породообразующих минералов. Все это, в конечном итоге, приводит к резкому различию в минеральном составе руд и характере окolorудных изменений и вместе с тем накладывает специфический отпечаток на режим кислотности и щелочности рудообразующих растворов.

Вполне естественно, что различие условий рудообразования, обусловленное особенностями литологии вмещающих пород, неизбежно должно отразиться на концентрациях и поведении редких элементов, сопутствующих свинцово-цинковым рудам. Роль литологических факторов в данном случае двойственна. С одной стороны, состав вмещающих пород может способствовать концентрации редких элементов в рудах, так как и в процессе миграции и непосредственно в местах отложения руд совместно с основными компонентами породообразующих минералов в растворы переходит большой комплекс редких элементов, свойственных тем или иным породам. С другой стороны, состав пород является одним из важнейших факторов, определяющих понижение концентраций редких элементов в сульфидных минералах вследствие их широкого рассеяния в жильной части руд и продуктах околожильных изменений. В связи с этим месторождения, образовавшиеся в сходных тектонических условиях, но залегающие в различных по составу породах, существенно отличаются друг от друга не только по концентрациям, но и по спектру редких элементов.

Вмещающие породы как источник редких элементов

Наряду с типично магматогенными элементами, такими, как индий, кадмий, теллур, серебро и др., в свинцово-цинковых рудах широко проявлены редкие элементы, источником которых могут служить не только первичные гидротермальные растворы, но и различные вмещающие породы. К этим элементам прежде всего необходимо отнести таллий и галлий, в значительных количествах содержащиеся в изверженных и осадочно-метаморфических алюмосиликатных породах, германий, проявляющий тенденцию к накоплению в битуминозных и угленосных отложениях, и стронций, являющийся типоморфным редким элементом карбонатных пород. Из других редких элементов, характерных для свинцово-цинковых руд, во вмещающих породах в больших количествах присутствуют селен, редкие земли, рубидий, ванадий и цирконий. Для свинцово-цинковых месторождений Восточного Забайкалья особенно показательно поведение таллия и галлия. Как видно из табл. 64, количества таллия и галлия в породообразующих алюмосиликатах изверженных и метаморфизованных осадочных пород этого региона иногда в 5—10 раз превышают их кларковые содержания в земной коре. Общие концентрации этих элементов в породах во многих случаях также более высокие по сравнению с кларковыми. Таковы, например, каледонские порфиroidы или имеющие широкое площадное распространение варисские гранитоиды, содержащие 0,0003—0,0005% таллия и от 0,0006 до 0,0050% галлия. Еще более высокие концентрации этих элементов характерны для метаморфизованных палеозойских сланцев; серицитовые и серицитово-хлоритовые разности этих пород, вмещающие в ряде районов Приаргунья свинцово-цинковое оруденение, содержат до 0,0005—0,0007% таллия и 0,002—0,005% галлия.

При разложении породообразующих алюмосиликатов под воздействием гидротерм таллий и галлий будут переходить в раствор, что может привести к их накоплению в первично стерильных в отношении этих элементов порциях растворов. Такой вывод не вполне справедлив применительно к заимствованию таллия и галлия по пути следования растворов. Частое отсутствие этих элементов в продуктах некоторых ранних стадий минерализации и их избирательная геохимическая связь со свинцом и цинком в карбонатной среде показывают, что в этом случае концентрации таллия и галлия, скорее всего, имеют первичное магматогенное происхождение. Что касается заимствования таллия и галлия непосредственно в местах отложения руд, то роль вмещающих силикатных пород в мобилизации этих элементов почти не вызывает сомнений.

Одним из важнейших критериев, свидетельствующих о перетолжении таллия и галлия в процессе метасоматического заме-

Содержание таллия и галлия в различных породах Нерчинско-Заводского района (в %)

Порода	Минерал-носитель	Таллий		Галлий		Количество проб
		в минерале	в породе	в минерале	в породе	
Каледонские порфиroidы	Калиевый полевой шпат	0,0009	0,0005	0,0020	0,0040	8
	Серицит (втор.)	0,0010		0,0040		
Варисские граптоиды	Калиевый полевой шпат	0,0009	0,0003	0,0030	0,0006	22
	Плагиоклаз	—		0,0037		
	Мусковит . .	0,0007		0,0050		
	Биотит	0,0010		0,0050		
Мезозойские кварцевые порфиры и плагиосиенит-порфиры	Калиевый полевой шпат	0,0010	0,0005	0,0050	0,0020	13
	Плагиоклаз	—		До 0,01		
Мезозойские лампрофиры	Роговая обманка	—	0,0007	До 0,01	0,0050	17
	Биотит	0,0010		0,0050		
	Полевые шпаты	Не анализировался		Не анализировался		
Палеозойские серицитово-хлоритовые сланцы	Серицит . . .	0,0005	0,0005— 0,00007	0,0010	0,0025— 0,0050	19
		0,0010		0,0040		
	Хлорит	—		0,0025		
				0,0050		

щения силикатных пород, является их поведение на различных стадиях рудообразования. Ранее мы отмечали, что в месторождениях Нерчинско-Заводского района, залегающих в чистых карбонатных породах (Екатерино-Благодатское, Воздвиженское и др.), галлий характерен только для сфалерит-галенитовых стадий, а таллий — для поздних парагенетических ассоциаций минералов, образовавшихся в основном в галенитовую и сульфоантимонитовую стадии минерализации. Более ранние образования, связанные с кварц-пиритовой и пиритовой стадиями, а также поздние сульфоантимонитовые руды, как правило, не несут даже следов этих элементов.

Принципиально отличным является поведение таллия и галлия при образовании свинцово-цинковой минерализации в алюмосиликатной среде. Как в Нерчинско-Заводском районе, так и

во многих других районах Восточного Забайкалья в месторождениях, залегающих в силикатных породах (гранитоидах, сланцах, эффузивах и т. д.), оба эти элемента практически сопутствуют всем стадиям минералообразования, в том числе и тем из них, которые совершенно лишены свинца и цинка. Вполне естественно, что в последнем случае единственным источником таллия и галлия могли служить только замещаемые рудами вмещающие породы. При развитии руд в силикатных породах, особенно в серицит-хлоритовых сланцах (Ивановское) и лампрофирах (Цагайно-Воздаянское), содержание галлия, например, в пиритовых и пирит-пирротиновых рудах достигает тысячных долей процента, т. е. является даже более высоким, чем в сфалеритовых типах руд. По мере снижения активности растворов количества таллия и галлия, заимствуемые из вмещающих пород, по-видимому, постепенно уменьшаются, о чем свидетельствует понижение концентрации галлия в поздних сульфоантимонитовых рудах ранее упомянутых месторождений.

Не менее важным показателем заимствования таллия и галлия из боковых пород являются формы нахождения этих элементов. Как уже неоднократно подчеркивалось, в месторождениях, залегающих в карбонатных породах, таллий и галлий входят преимущественно в сульфидные соединения — сфалерит (галлий) и минералы свинца (таллий), т. е. находятся в ассоциации с типично магматогенными элементами. Совершенно иной геохимический парагенезис характерен для них при метасоматическом развитии руд в силикатных породах. Главными компонентами, сопутствующими таллию и галлию в рудах ранних стадий, являются калий, глинозем и кремнекислота, а их минералами-носителями — вновь образующиеся алюмосиликаты: турмалин, серицит и хлорит для галлия, серицит для таллия. Все эти минералы, концентрируясь в основном в призальбандовых частях рудных тел, показывают явные признаки замещения порообразующих алюмосиликатов, что совершенно однозначно решает вопрос об источниках присутствующих в них концентраций таллия и галлия. Лишь в более поздних стадиях, где не исключен привнос этих элементов первичными растворами, они входят в состав и сульфидов и алюмосиликатов. В данном случае обогащение алюмосиликатов таллием и галлием возможно как в результате извлечения из вмещающих пород, так и за счет их привноса.

Из всего вышесказанного можно сделать вывод, что в месторождениях, локализованных в силикатных толщах, концентрации таллия и галлия в ранних колчеданных образованиях или в других необычных для них парагенетических ассоциациях минералов нельзя рассматривать как первично привнесенные из магматического очага; присутствие в рудах некоторых стадий таллия и галлия, вероятнее всего, можно объяснить их мобилизацией из вмещающих пород этих месторождений.

Влияние вмещающих пород на концентрацию и рассеяние редких элементов с ярко выраженными литофильными свойствами

Свинцово-цинковые месторождения Приаргунского пояса, приуроченные к карбонатным породам, обычно обогащены кальцитом, доломитом и анкеритом, в то время как генетически родственные им месторождения, но залегающие в богатых глиноземе породах, изобилуют кварцем, серицитом, хлоритом или турмалином (Смирнов, 1955).

Различие в составе жильных минералов руд и характере сопутствующих им околорудных изменений накладывает существенный отпечаток на поведение элементов с ярко выраженными литофильными свойствами. Примером могут служить таллий и галлий, которые благодаря близости своих свойств со свойствами компонентов алюмосиликатов в условиях силикатной обстановки могут рассеиваться в жильной части руд или же в продуктах околорудного метаморфизма, что неизбежно приведет к резкому падению их концентраций в сульфидных минералах. Это широко проявленное в природе явление, впервые подмеченное Г. М. Мейтувом в свинцово-цинковых месторождениях Кличкинского района, является одним из главных факторов, определяющих поведение таллия и галлия в месторождениях Приаргунского свинцово-цинкового пояса.

Как отмечалось ранее, в месторождениях Нерчинско-Заводского района, относящихся к группе низкотемпературных близповерхностных образований, проявление околорудного магнетизально-железистого и особенно калиевого метасоматоза имеет весьма ограниченное значение по сравнению с другими районами Приаргунского пояса. Однако даже при сравнительно незначительных масштабах изменения силикатных пород такие процессы, как серицитизация, хлоритизация и турмалинизация, обусловили широкое рассеяние таллия и галлия и явились причиной понижения их концентраций в сульфидах в десятки и сотни раз. В этом нетрудно убедиться из табл. 65—66, в которых приведены данные о концентрациях таллия и галлия для месторождений, залегающих в различных породах. Для сравнения взяты галенит и буланжерит сульфоантимонитовой стадии и цинковые обманки сфалеритовой стадии минерализации.

В месторождениях, залегающих в доломитах и известняках (Воздвиженское, Екатерино-Благодатское и др.), в рудах которых жильные минералы представлены в основном карбонатами и кварцем, таллий и галлий не рассеиваются, и вся их масса, приносимая в растворах сфалеритовой, галенитовой и сульфоантимонитовой стадий, обычно накапливается в сульфидных минералах. Поэтому концентрация таллия в галените и сульфоантимонитах свинца здесь нередко достигает максимальных для

Восточного Забайкалья значений — десятых долей процента, что в 1000—1500 раз превышает его кларк в земной коре, а галлий в количествах до 0,01% накапливается исключительно в сфалерите.

Как видно из табл. 65 и 66, верхний предел содержаний таллия и галлия в сульфидных минералах снижается в тех месторождениях, в которых рудные тела залегают или в глинистых

Таблица 65

Изменение содержаний галлия в сфалерите в зависимости от состава рудовмещающих пород (в %)

Рудовмещающие породы	Нерчинско-Заводский район	Алгачинское рудное поле
Известняки, доломиты	0,0070—0,0100	0,0007—0,0012
Контакт карбонатных и алюмосиликатных пород	0,0010—0,0100	0,0005—0,0007
Сланцы, песчаники, изверженные породы	0,0002—0,0003	0,0002—0,0003

Таблица 66

Изменение содержаний таллия в галените и буланжерите в зависимости от состава рудовмещающих пород (в %)

Рудовмещающие породы	Минерал	Нерчинско-Заводский район	Алгачинское рудное поле
Известняки, доломиты	Галенит	0,0050—0,0200	0,0044
	Буланжерит	0,0200—0,0500	0,0020
Контакт карбонатных и силикатных пород	Галенит	0,0005—0,0020	0,0003—0,0006
	Буланжерит	0,0005—0,0050	0,0005—0,0010
Сланцы, песчаники, изверженные породы	Галенит	0,0002—0,0020	Не об. — 0,0003
	Буланжерит	0,0001—0,0006	Не обн.

Примечание. Чувствительность определения 0,0001%.

сланцах (Ивановское), или на контакте сланцев и доломитизированных известняков (Октябрьское, Центральное, Спасское). Так, наиболее обычные концентрации таллия в галените и буланжерите этих месторождений, как правило, не превышают первых тысячных долей процента, или в 10 раз ниже, чем в тех же минералах из Екатерино-Благodatского месторождения, а содержания галлия в сфалерите близки к кларковым. Причина этого устанавливается довольно определенно: в Ивановском, Спасском и других месторождениях таллий и галлий являются

постоянной примесью в жильной части руд и в измененных породах, концентрируясь в тысячных долях процента в сериците (таллий и галлий) и хлорите (галлий), которые постоянно сопутствуют свинцово-цинковой минерализации. Выделение этих минералов в парагенезисе со сфалеритом и минералами свинца предопределило частичное рассеяние таллия и галлия.

Резкое понижение концентраций таллия и галлия в сульфидах еще более отчетливо проявилось в рудных телах, залегающих в изверженных породах. Примером может служить Цагаяно-Воздаянское месторождение, в пределах которого нами опробовались руды, метасоматически развивающиеся по дайкам лампрофиров. Наряду с сульфидами в рудах этого месторождения широко проявлены такие минералы, как турмалин, хлорит и серицит. Первые два минерала обычно сопровождают ранние стадии минерализации: пирит-пирротиную и сфалерит-галенитовую, причем хлорит развивается исключительно по роговой обманке и биотиту лампрофиров; выделение серицита, в целом характерное для всего рудного процесса, с наибольшей интенсивностью проявлено в связи с галенитовой и сульфоантимонитовой стадиями.

Развитие алюмосиликатов, тесно ассоциирующих с рудными минералами, вызвало резкое обеднение последних редкометалльными примесями. В сфалеритовую стадию большая часть галлия, очевидно, оказалась связанной в турмалине и хлорите, что, естественно, повлекло за собой снижение его концентрации в сфалерите. В рудах Цагаяно-Воздаянского месторождения это проявилось настолько широко, что при содержании галлия в алюмосиликатах (0,004—0,005%) его содержание в сфалерите составляет всего 0,0002—0,0003%, т. е. почти в 100 раз ниже, чем в сфалерите из месторождений, залегающих в карбонатных породах, и примерно в 10 раз меньше его кларковых содержаний в земной коре.

Интенсивный калиевый метасоматоз, сопутствующий поздним стадиям рудного процесса, обусловил сравнительное накопление таллия в сериците и заметное снижение таллиенности галенита и буланжерита в Цагаяно-Воздаянском месторождении. Если содержание таллия в сериците обычно колеблется около 0,002%, то его концентрация в галените и сульфоантимонитах свинца удерживается на уровне десятитысячных долей процента, т. е. совершенно несопоставима с ранее приводимыми концентрациями таллия в свинцовых минералах Ивановского и тем более Екатерино-Благодатского месторождений.

Следовательно, даже в пределах небольшого рудного района, месторождения которого сформированы в сходных тектонических условиях, концентрация таллия и галлия в сульфидах постепенно падает при переходе от карбонатных к карбонатно-глинистым и существенно силикатным породам; интенсивность

их рассеяния в продуктах околорудного метаморфизма находится в тесной зависимости от масштабов проявления сингенетических с рудообразованием алюмосиликатных изменений (серицитизации, хлоритизации, турмалинизации и т. п.).

Влияние состава вмещающих пород на концентрацию таллия и галлия в сульфидах становится еще более ясным при сравнении месторождений Нерчинско-Заводского района, залегающих в пределах мощной карбонатной плиты, с месторождениями других районов Приаргунья, расположенными в областях преобладающего развития силикатных пород. Примером могут служить относящиеся к тому же типу, но характеризующиеся более глубинным обликом рудопроявления Алгачинского рудного поля в толще песчано-глинистых отложений юры.

Как уже отмечалось, рудные жилы Алгачинского рудного поля залегают в глинистых сланцах юры или на контакте с сильно метаморфизованными известняками палеозоя (редко в пределах последних) и сопровождаются интенсивными околорудными изменениями — турмалинизацией, хлоритизацией, серицитизацией и тремолитизацией вмещающих толщ. При этом интенсивность проявления процессов изменения пород здесь несравнимо более высокая, чем, например, в месторождениях Нерчинско-Заводского района. Проведенные исследования показывают, что все эти изменения непосредственно связаны с рудным процессом, а их продукты заметно обогащены редкометалльными примесями. По данным химических анализов, серицит из Партейского и Алгачинского месторождений, отложенный в сфалеритово-галенитовую и наиболее позднюю — сульфоантимонитовую стадию, содержит до 0,002% таллия и 0,003% галлия. Последний характерен также для околорудного хлорита (0,002%) Сухаревского месторождения, турмалина (0,002—0,006%) Алгачинского и других месторождений, которые связаны с ранними стадиями формирования руд.

Возможно, что именно вследствие широкого рассеяния этих элементов в продуктах околорудного метаморфизма ни таллий, ни галлий не образуют высоких концентраций в сульфидных минералах месторождений Алгачинского рудного поля. Действительно, алгачинские галениты слабо таллиеносны, а содержание галлия в сфалерите не превышает 0,0005—0,0007%, что соответственно в 50—100 и в 10 раз меньше концентраций этих элементов в тех же минералах из месторождений Нерчинско-Заводского района. Аналогично этому содержание таллия в буланжерите алгачинских месторождений, как правило, составляет десятитысячные доли процента, т. е. во много раз ниже, чем в сходных по характеру вмещающих пород месторождениях Нерчинско-Заводского района.

Несмотря на чрезвычайно низкий фон концентраций таллия и галлия в сульфидах месторождений Алгачинского рудного по-

ля, дифференциация их содержаний в зависимости от характера и интенсивности окolorудных изменений, которую мы отметили для месторождений Нерчинско-Заводского района, довольно четко проявлена и в рассматриваемом районе. В зависимости от состава вмещающих пород концентрации таллия в галените здесь составляют: в карбонатных породах — 0,0044% (Сопка Баранья); в месторождениях, залегающих на контакте известняков и сланцев, — 0,0003—0,0005% (Алгачинское, Партейское); в песчаниках и сланцах — «не обнаружено» — 0,0003% (III Игнатовское и др.). Точно так же ведут себя таллий в буланжерите, концентрация которого колеблется от «не обнаружен» в III Игнатовском до 0,0020% в месторождении Сопки Бараньей, а также галлий в сфалерите, для которого характерными содержаниями в песчано-глинистых отложениях являются 0,0002—0,0003%, а в карбонатных породах 0,0007—0,0012%.

Таким образом, при метасоматическом образовании руд распределение таллия и галлия в свинцово-цинковых месторождениях Восточного Забайкалья и их концентрации в сульфидных минералах находятся в тесной зависимости от литологического состава вмещающих пород.

Во-первых, независимо от структурных особенностей формирования месторождений, для накопления таллия и галлия в сульфидных породах наиболее благоприятны чистые карбонатные породы, в то время как песчано-глинистые и особенно изверженные породы, способствующие обогащению растворов одновалентными щелочами и глиноземом, предопределяют широкое рассеяние этих элементов в жильных минералах и продуктах окolorудного метаморфизма и тем самым обуславливают резкое снижение их концентраций в сульфидных минералах.

Во-вторых, поскольку таллий и галлий обладают ярко выраженными литофильными свойствами и большим сходством свойств их ионов соответственно с ионами калия и алюминия, оба эти элемента в условиях совместного нахождения в растворах алюминия и цинка (галлий) или калия и свинца (таллий) более тесно ассоциируют с калием и алюминием, чем с тяжелыми металлами. Иными словами, в силикатных породах и таллий и галлий будут охотнее рассеиваться в алюмосиликатах, чем накапливаться в сульфидных породах.

Влияние вмещающих пород на концентрацию и рассеяние халькофильных редких элементов

Вопрос о роли вмещающих пород в поведении редких элементов, очевидно, был бы освещен неполно, если не рассмотреть его с точки зрения влияния состава пород на отложение редких элементов с преобладанием халькофильных свойств. По своим

геохимическим особенностям, определяющим условия их осаждения, такие элементы, как индий, кадмий, теллур, серебро и др., существенно отличаются от таллия и галлия. В частности, в связи с различным влиянием на их осаждение режима кислотности и щелочности растворов или окислительно-восстановительного потенциала среды, те же силикатные породы, которые предохраняют рассеяние литофильных элементов, могут служить прекрасным осадителем для редких элементов-халькофилов. Вместе с тем, карбонатные породы, способствующие накоплению таллия и галлия в сульфидах, в ряде случаев менее благоприятны для осаждения, например, индия, кадмия и серебра и могут привести к их частичной миграции и рассеянию во вмещающих породах. Чтобы понять причины этого явления, попытаемся хотя бы кратко рассмотреть влияние вмещающих пород на физико-химические условия рудообразования.

По мнению большинства исследователей (Смирнов, 1955; Кормилицын, 1955 и др.), образование нерчинских свинцово-цинковых руд происходило из простых растворов, имеющих слабокислую реакцию. Однако, поступая в различные по своему составу вмещающие толщи, одни и те же порции растворов не могли не менять первично присущего им характера. Взаимодействие рудообразующих растворов с глинистыми сланцами, кварцитами и кислыми интрузивными породами должно неизбежно приводить к некоторому повышению кислотности растворов. В карбонатных породах, вследствие их способности нейтрализовать кислые рудоносные растворы, по-видимому, идет процесс, приводящий к относительному понижению кислотности растворов. Таким образом, в районах, близких по тектоническим условиям локализации руд, процессы рудообразования, а также осаждения редких элементов протекают в силикатных породах из более кислых растворов, чем в карбонатной среде.

Это заключение в последнее время находит исключительно широкое подтверждение в результатах экспериментальных работ. Проведенные Н. И. Хитаровым (Хитаров, Москалюк, 1955) вытяжки газовой-жидких включений из галенитов ряда месторождений Восточного Забайкалья показали, что образование этих минералов протекало в интервале значений рН от 5,3 до 6,6, причем величина рН колеблется от 5,3—5,6 в месторождениях, залегающих в гранитоидах и карбонатно-глинистых породах (Каменское, Михайловское и др.), до 6,0—6,6 в рудопрооявлениях, локализованных в известняках (Мальцевское, Акатуевское).

Интересны в этом отношении и данные С. К. Робинсона (1950), вытекающие из синтеза сульфоантимонитов свинца. Как показали опыты, для наиболее полного осаждения игольчатых сульфоантимонитов свинца благоприятны слабокислые растворы, в то время как в нейтральных или щелочных средах их выход резко сокращается. На смену игольчатым сульфоанти-

монитам свинца в этом случае приходят либо пластинчатые минералы этой группы, либо галенит в ассоциации с чисто сурьмяными минералами. Поэтому, очевидно, в месторождениях, залегающих в чистых карбонатных породах (Екатерино-Благодатское, Резановское, Воздвиженское), роль буланжерита резко сокращается, тогда как количество типично пластинчатого сульфоантимонита свинца — геокронита — заметно возрастает.

Все эти данные, а также развитие в сланцах или лампрофирах железистых сфалеритов и интенсивных процессов турмалинизации и хлоритизации, характерных, как известно, для более кислых сред, однозначно указывают на то, что кислотность рудообразующих растворов в силикатных породах проявляет тенденцию к более медленному падению, чем в их карбонатных разностях.

Вместе с тем при равных тектонических условиях и одинаковом составе растворов процессы рудообразования в силикатных породах иногда протекают в более восстановительных условиях, чем в карбонатной среде. Об этом свидетельствуют как некоторые теоретические предпосылки, показывающие, что окисление идет более интенсивно и легко в менее кислых растворах (Мезон, 1950; Бетехтин, 1953₂), так и обширные фактические данные анализа парагенетических ассоциаций минералов. Отвлекаясь от некоторых частных явлений, обусловленных локальными особенностями рудовмещающих структур, можно констатировать, что в месторождениях Нерчинско-Заводского района при развитии руд в силикатных породах чаще и в больших количествах образуются скопления пирротина, в то время как в карбонатных породах в эти же стадии отмечается массовое выпадение пирита. На это же указывают и такие факты, как образование в силикатных породах сфалеритов, насыщенных эмульсионными выделениями пиротина, станнина и халькопирита, или же частое проявление самородного серебра, иногда — висмута, при одновременном выпадении в карбонатных породах ассоциаций пирит — слабожелезистый сфалерит и вхождении серебра в галенит и сульфосоли свинца исключительно в виде твердого раствора.

В свете изложенных данных становятся более понятными особенности поведения халькофильных редких элементов в месторождениях, близких по структурным особенностям локализации руд, но отличающихся составом рудовмещающих пород.

Возвращаясь к примеру распространения редких элементов в месторождениях Нерчинско-Заводского района и Алгачинского рудного поля, рассмотрим с литологических позиций причины резкой изменчивости концентраций таких элементов, как индий и серебро. Как показано в табл. 67 и 68 и на фиг. 42 и 43, в обоих этих районах концентрации индия и серебра в сульфидных минералах закономерно возрастают при переходе от карбонат-

ных пород к силикатным. Особенно показательным в этом отношении поведение индия в сфалерите. Из приведенных данных видно, что в месторождениях Нерчинско-Заводского района концентрация индия в ранних разновидностях сфалерита меняется от 0,016—0,018% для месторождений, локализованных в известняках (Екатерино-Благодатское, Воздвиженское), до 0,060—0,072% для месторождений, в строении которых наряду с карбонатными породами большую роль играют гранитоиды (Центральное), кварциты, кварцевые порфиры и сланцы (Благодатское), и даже до 0,045—0,093% в рудопроявлениях, характеризующихся развитием руд в глинистых сланцах (Ивановское) и лампрофирах (Цагаяно-Воздаянское). Соответственно, в поздних разновидностях сфалерита содержание индия в этих типах месторождений изменяется от 0,003—0,005% до 0,006—0,016% и 0,019—0,029% (табл. 67).

Подобная же тенденция характерна и для поведения индия в сфалерите из месторождений Алгачинского рудного поля, где среднее его содержание падает от 0,011—0,023% в рудных телах, приуроченных к песчаникам и сланцам (Покровское, Игнатовские и т. д.), до 0,006—0,0009% в месторождениях, залегающих в известняках или на контакте последних с юрскими сланцами (Сопка Баранья и др.).

Причина этого, очевидно, заключается в общей тенденции сульфидных соединений индия к выпадению в слабокислых растворах в условиях резко восстановительной среды и в его склонности к миграции в щелочных средах, характеризующихся более окислительным характером растворов. Из аналитической практики известно, что для осаждения индия сероводородом наиболее благоприятной является слабокислая среда. Так, по указаниям

Таблица 67

Изменение содержания индия в сфалерите месторождений Нерчинско-Заводского района в зависимости от состава вмещающих пород (в %)

Рудовмещающие породы	Пределы содержания	Среднее
Известняки	0,0080—0,1200	0,0169—0,0180
Доломиты	0,0020—0,0080	0,0037—0,0050
Известняки с широким развитием изверженных пород	0,0120—0,1700 0,0040—0,0200	0,0604—0,0721 0,0063—0,0163
Глинистые сланцы	0,0360—0,1100	0,0455—0,0930
Лампрофиры	0,0004—0,0300	0,0039—0,0295

Примечание. В таблице приведены сведения для двух ранних генераций сфалерита.

Гиллебранда (Абрамов, Русанов, 1939), сульфид трехвалентного индия осаждается сероводородом только из очень слабого сернокислого раствора; причем наиболее полное его извлечение достигается при $pH=5,6$. Все это хорошо согласуется с экспериментальными данными С. Г. Чернорука по синтезу сульфидных соединений индия и с наблюдениями В. В. Иванова (1961) и Л. Н. Хетчикова (1958), установившими, что оптимальные условия для осаждения индия в сфалерите характеризуются слабокислой реакцией растворов в сочетании с резко восстановительными условиями образования руд. Именно с такими условиями мы и встречаемся при образовании высокоиндиеносных сфалеритов в месторождениях Приаргунского свинцово-цинкового пояса, залегающих в силикатных породах.

В карбонатной среде, где растворы, по-видимому, близки к нейтральным (во всяком случае имеют менее кислый характер, чем в силикатных породах), осаждение индия в сфалерите протекает в менее благоприятной обстановке. В этих условиях индий может образовывать легко растворимые карбонатные и бикарбонатные соединения и частично выноситься из сферы реакции. Вследствие повышенного окислительного потенциала растворов, из которых отлагается сфалерит в карбонатных породах, часть индия может удерживаться в остаточных порциях растворов, а затем рассеиваться в поздних ассоциациях минералов. Возможно, это и является одной из главных причин частого присутствия индия в галенитах Воздвиженского месторождения или обедненности им сфалеритов Спасского и Октябрьского месторождений при одновременном накоплении его в более поздних выделениях галенита и сульфосолей свинца. Все это неизбежно должно вызвать относительное понижение концентрации индия в сфалерите месторождений, залегающих в карбонатных породах. Лишь в локально обособленных участках, характеризующихся благодаря специфическим структурным особенностям высоким восстановительным потенциалом, большая часть индия может связываться в сфалерите, в связи с чем его концентрация в этом минерале из руд, локализованных в карбонатных породах, часто испытывает очень резкие колебания.

Не исключено, что те же самые факторы в какой-то степени определяют и поведение индия в группе сульфосолей, в частности пониженную индиеносность геокронита. Хотя активность растворов на поздних стадиях падает и различие в их характере, обусловленное влиянием вмещающих пород, может быть выражено не столь резко, как в процессе кристаллизации ранних руд, тем не менее роль режима кислотности и окислительно-восстановительных условий рудообразования здесь также имеет определенное значение. Постоянное развитие геокронита в карбонатных породах и его обогащенность типично щелочным металлом — таллием, с одной стороны, и его частый парагенезис с баритом (Ека-

терино-Благодатское месторождение) — с другой, свидетельствуют об образовании геокронита в резко окислительной обстановке из нейтральных или слабощелочных растворов, которые, как указывалось выше, не являются благоприятными для накопления индия в сульфидных минералах. В несколько иных условиях отлагается индиеносный буланжерит. Как из опытов Робинсона (1950), так и из наблюдений природных ассоциаций (парагенезис буланжерита с самородным серебром, насыщенность его сульфидным оловом и т. п.) видно, что для массового выпадения буланжерита, несущего повышенные концентрации индия, характерна восстановительная среда в сочетании со слабокислой реакцией растворов. Поэтому, очевидно, природные концентрации индия в буланжерите обычно более высоки, чем в геокроните.

Влияние вмещающих пород на осаждение элементов, находящихся в рассеянном состоянии, хорошо видно на поведении серебра, для которого так же, как и для индия, в целом типично возрастание концентраций в сульфидах при переходе от карбонатных к силикатным породам (табл. 68). В очевидности этого можно убедиться хотя бы из сравнения его концентраций в таких минералах, как сфалерит, галенит и буланжерит. Так, содержание серебра в сфалерите из месторождений, залегающих в известняках, составляет в среднем 0,013—0,016%, а при развитии минерализации в сланцах и песчаниках — 0,061—0,069%. Аналогично поведение серебра и в галенитах, которые содержат 0,220—0,262% серебра в карбонатных породах и 0,383—0,763% в силикатной среде.

Таблица 68

Изменение содержания серебра в сфалерите, буланжерите и галените в зависимости от состава вмещающих пород (в %)

Рудовмещающие породы	Минерал	Нерчинско-Заводский район		Алгачинское рудное поле	
		пределы содержания	среднее	пределы содержания	среднее
Известняки, доломиты	Сфалерит . . .	0,007—0,030	0,016	0,012—0,015	0,013
	Буланжерит	0,040	0,040	0,066	0,066
	Галенит . . .	0,115—0,345	0,262	0,200—0,240	0,220
Контакт карбонатных и силикатных пород	Сфалерит . . .	0,011—0,0380	0,020	0,020—0,030	0,025
	Буланжерит	0,010—0,110	0,055	0,200—0,240	0,220
	Галенит . . .	0,26—0,265	0,262	0,200—0,250	0,240
Сланцы, песчаники, изверженные породы	Сфалерит . . .	0,013—0,080	0,061	0,030—0,133	0,069
	Буланжерит	0,100—0,310	0,205	0,310—0,330	0,320
	Галенит . . .	0,220—0,546	0,383	0,500—0,940	0,763

Почти сходная картина наблюдается и в отношении буланжеритов. В месторождениях Нерчинско-Заводского района концентрация серебра в буланжерите колеблется от 0,010—0,080% в Спасском и Октябрьском месторождениях до 0,100—0,310% в Ивановском и Цагайно-Воздайнском. Для последних месторождений характерны и аномально высокие содержания серебра в галените и буланжерите (до 0,50—0,94%), обусловленные частым развитием в ассоциации с этими минералами самородного серебра, прустита и пираргирита. В месторождениях, приуроченных к карбонатным породам, главная масса серебра присутствует в галените и буланжерите, как правило, в невидимой форме.

Таким образом, как и в отношении индия, вмещающие породы оказывают различное влияние на осаждение серебра; при прочих равных условиях, в частности в одной и той же тектонической обстановке, для накопления серебра, по-видимому, более благоприятны сланцы и изверженные породы, чем известняки или доломиты.

Однако серебро более инертно в отношении изменения литологических условий рудообразования, чем индий. В отличие от последнего, колебание концентраций серебра в таких минералах, как галенит, пирит или сфалерит, при смене вмещающих пород обычно не выходит за пределы одного и того же порядка. Особенно показательным в этом отношении соотношением концентраций индия и серебра в сфалерите из месторождений Нерчинско-Заводского района. В зависимости от состава вмещающих пород содержание индия в сфалерите здесь падает от десятых до тысячных долей процента, в то время как концентрация серебра, при общем понижении от силикатных к карбонатным породам, как правило, остается в пределах сотых долей процента. В связи с этим в месторождениях Нерчинско-Заводского района, сформированных в карбонатных породах, содержание серебра в сфалерите в большинстве случаев является более высоким, чем концентрация индия.

Главной причиной этого, вероятнее всего, является различное отношение серебра и индия к изменению физико-химического состояния растворов. Как элемент, обладающий ярко выраженными халькофильными свойствами, серебро должно более полно осаждаться в восстановительных средах, и в этом смысле его поведение мало чем отличается от поведения индия. Однако по своим химическим свойствам, в частности, по условиям образования сульфидов, серебро близко не только к индию, но и к таким металлам, как свинец и таллий, лучшими осадителями которых являются карбонатные породы. Занимая как бы промежуточное положение между указанными металлами, серебро, по-видимому, может осаждаться в более широком интервале значений рН, т. е. как в слабых, так и в более щелочных растворах. На это указывает и то, что растворимость карбонатных соединений серебра несравнимо ниже, чем карбоната индия, и при 100° С составляет всего лишь

0,050 на 100 вес. частей воды. Поэтому различие концентраций серебра в карбонатных и силикатных породах обычно как бы снивелировано в результате его более инертного отношения к режиму кислотности и щелочности растворов.

Влияние литологического контроля на поведение редких элементов в месторождениях Приаргунского свинцово-цинкового пояса слабее сказывается на концентрациях таких элементов, как кадмий, селен и теллур. Как уже отмечалось, для осаждения кадмия более благоприятны относительно кислые порции растворов. Исходя из этого, следовало бы ожидать, что в силикатной среде его концентрации в сфалерите и других сульфидных минералах будут более высокими, чем в карбонатных породах. В региональном плане это наблюдается довольно отчетливо, так как содержание кадмия закономерно понижается от месторождений, приуроченных к районам широкого площадного развития гранитоидов (Кличкинский район) и толщ юрских песчано-глинистых пород (Алгачинское рудное поле), к месторождениям, залегающим среди карбонатных пород (Нерчинско-Заводский район).

Однако в этом случае большое влияние могли оказать структурные факторы. Что же касается месторождений, образовавшихся в сходных структурных условиях, то влияние литологических факторов на поведение кадмия здесь чаще всего почти не ощущается. Правда, иногда концентрация кадмия в сфалерите из месторождений, локализованных в глинистых сланцах, скачкообразно повышается, как, например, в Ивановском или I Игнатовском месторождениях, но рассматривать эти случаи как вполне закономерное явление пока нет оснований.

Еще менее ясно влияние литологии вмещающих пород на поведение селена и теллура. Судя по последним данным, в месторождениях сурьмяно-ртутной формации наиболее высокие концентрации селена, как правило, характерны для карбонатной среды. Тем не менее в свинцово-цинковых месторождениях селен и теллур не отдают предпочтения тому или иному типу пород и могут накапливаться как в карбонатных породах (скарновые месторождения в известняках), так и в песчаниках, сланцах и эффузивах (месторождения алтайского типа, Сардинии, Родоп и др.). С таким же положением мы встречаемся и в месторождениях Приаргунского свинцово-цинкового пояса, где в одних районах (Алгачинское рудное поле) оба эти элемента более охотно накапливаются в месторождениях, залегающих в глинистых сланцах, в то время как в других (Нерчинско-Заводский район) они в больших количествах встречаются в рудах, замещающих известняки и доломиты. Причины этого пока неясны, хотя в каждом конкретном случае среди совокупности факторов, определяющих поведение селена и теллура, вмещающие породы должны играть немаловажную роль.

Поведение редких элементов при различных способах отложения рудного вещества

Известны два способа отложения рудного вещества при образовании сульфидных месторождений: метасоматическое развитие по вмещающим породам и выполнение приоткрытых полостей. Не всегда удается провести четкую границу между минеральными агрегатами, выполняющими пустоты и отложенными по тому или иному субстрату, однако в ряде случаев критерии этого настолько отчетливы, что позволяют проследить поведение редких элементов в одних и тех же минералах при различных способах отложения руд.

Характеризуя поведение редких элементов в зависимости от структурных условий рудообразования и состава вмещающих пород, мы детально рассмотрели причины их концентрации и рассеяния при метасоматическом образовании руд. В частности, интенсивное развитие метасоматических процессов в силикатных породах влечет за собой широкое рассеяние таких элементов, как таллий и галлий, и замещение ранних руд более поздними минеральными агрегатами, что нередко приводит к обогащению последних селеном, теллуrom, индием и кадмием.

В определенных структурно-литологических условиях, особенно на поздних стадиях образования руд, вследствие резкого понижения активности растворов метасоматические процессы проявляются весьма слабо, в связи с чем в низкотемпературных свинцово-цинковых рудах часто наблюдается отложение рудного вещества в пустотах. С таким явлением мы чаще всего встречаемся в рудных телах, локализованных в сравнительно инертных к процессам низкотемпературного метасоматоза алюмосиликатных породах (сланцах, песчаниках, гранитоидах и т. п.), при развитии оруденения в приоткрытых зонах брекчирования или же в сколах, полости которых отделены от вмещающих пород плотным слоем тектонической глины.

В этих условиях, даже при отсутствии признаков прохождения растворами стадии гелеобразного состояния, рассеяние таллия и галлия в силикатной обстановке будет крайне ограниченным и, в отличие от процесса метасоматического образования руд, не вызовет сколько-нибудь заметного понижения их концентраций в сульфидных минералах. Вместе с тем в данном случае, очевидно, исключается и обогащение поздних минеральных ассоциаций, в частности галенита и сульфосолей свинца, индием, кадмием и другими редкими элементами за счет ранее отложенных руд.

Поясним это примерами поведения редких элементов в поздних сульфoантимонитовых рудах Ивановского месторождения (Нерчинско-Заводский район) и в свинцово-цинковых образова-

ниях некоторых месторождений золото-молибденового и оловянно-вольфрамового поясов Восточного Забайкалья (Дарасун, Шахтама, Этыка, Букука и др.).

В пределах Ивановского месторождения развиты два типа рудных тел. Для первого из них характерны метасоматические залежи с развитием оруденения по измененным известнякам и глинистым сланцам (Ивановская залежь). Рудные тела второго типа локализованы в мощной тектонической зоне брекчий, пересекающей толщу палеозойских сланцев, и представляют собой яркий пример проявления низкотемпературного сульфоантимонитового оруденения в приоткрытых полостях (Первое рудное тело). Сульфидные минералы выполняют пустоты, инкрустированные кристаллами кварца, или просто цементируют угловатые обломки сланцев, причем не наблюдается даже малейших признаков их замещения.

Различие в способе отложения поздних минеральных агрегатов наложило своеобразный отпечаток на поведение редких элементов и на их концентрацию в отдельных рудных телах Ивановского месторождения. Так, например, при метасоматическом развитии оруденения по глинистым сланцам содержание галлия в позднем сфалерите обычно не превышает 0,0005%, в то время как в скоплениях сфалерита, выполняющих пустоты, оно чаще всего составляет 0,0010%. Еще более резкое различие концентраций характерно для таллия. При обычном содержании его в галените и буланжерите Ивановской залежи не более 0,001—0,005% в рудах Первого рудного тела его количества возрастают до 0,01% в галените и 0,05% в буланжерите, а в менегините, заполняющем интерстиции кварца, достигают 0,01—0,1%. Следует подчеркнуть, что именно в Первом рудном теле не исключена возможность нахождения собственных минералов таллия, так как концентрация его в остаточных растворах, кристаллизующихся в пустотах, достигает очень высоких пределов.

Ивановское месторождение весьма интересно и в другом отношении. Свинцовые минералы (поздний галенит и буланжерит) из Ивановской залежи и Первого рудного тела заметно отличаются друг от друга и по содержанию таких элементов, как индий, кадмий и теллур. Отложение поздних руд Ивановской залежи часто сопровождается замещением ранних колчеданных и сфалеритогаленитовых образований, что нередко приводит к повышению в галените и буланжерите концентраций индия и кадмия за счет их извлечения из сфалерита, а также к появлению в этих минералах совершенно не характерного для сульфоантимонитовой стадии теллура в случае их развития по пириту. Галенит из пустот Первого рудного тела, как правило, стерилен в отношении теллура и содержит обычные для этого минерала концентрации кадмия, не выходящие за пределы 0,001—0,003%. Что же касается индия, то в галените, кристаллизующемся в пустотах, он совершенно отсут-

ствуется, а в буланжерите его содержание уменьшается по сравнению с содержанием в Ивановской залежи иногда в 10—20 раз.

Отложение рудного вещества в приоткрытых полостях особенно благоприятно отразилось на концентрациях таллия и галлия в свинцово-цинковых образованиях, завершающих процесс формирования некоторых вольфрамовых (Букука), молибденовых (Шахтама), золоторудных (Дарасун) и оловорудных (Этыка) месторождений Восточного Забайкалья.

Фактический материал, приведенный в предыдущих разделах, свидетельствует о том, что в свинцово-цинковых месторождениях Приаргунского пояса при метасоматическом развитии руд в алюмосиликатных породах концентрации таллия и галлия в сульфидных минералах падают до предельно низких значений — первых десяти тысячных долей процента. Казалось бы, что с подобным положением мы встретимся и в указанных выше месторождениях, так как Букука, Шахтама и Дарасун залегают в кислых изверженных породах типа гранитоидов, а Этыка — в толще глинистых сланцев. Однако вследствие того, что отложение позднего свинцово-цинкового оруденения здесь чаще всего происходило в условиях приоткрытых пустот, содержание таллия и галлия в сульфидах этих месторождений иногда в десятки и даже сотни раз выше, чем в аналогичных минеральных ассоциациях из месторождений Приаргунского пояса, залегающих в сходных по составу породах.

В Букукинском вольфрамовом месторождении свинцово-цинковая минерализация развивается преимущественно в пологопадающих жилах, приуроченных к контракционным трещинам в гранодиоритах (Вольфсон, Дружинин, 1960). Как показали исследования О. Д. Левицкого, А. В. Дружинина и Е. П. Малиновского, эти жилы, содержащие кроме вольфрамита значительные количества сфалерита, галенита и сульфосолей висмута и свинца, образованы путем выполнения пустот при фактическом отсутствии метасоматоза. Доказательством этому служит отсутствие околожильных изменений и наличие остроугольных, практически не подвергнутых замещению, обломков гранодиоритов внутри жил.

Прекрасным подтверждением этих выводов относительно формирования пологопадающих жил Букукинского месторождения в условиях приоткрытых полостей является поведение в них редких элементов. В сфалерите этих жил количество галлия в большинстве образцов составляет 0,001—0,004%, а в отдельных из них достигает 0,013%, т. е. примерно в 100 раз превышает его содержание в сфалерите из залегающих в гранитоидах типично свинцово-цинковых месторождений. Не менее показательным в этом отношении является и поведение таллия. При обычных для подобных пород содержаниях галлия в галените, равных 0,0001—0,0005% (Каменское и др.), его содержание в галените Букукинского месторождения колеблется в пределах 0,001—0,01%, составляя в

среднем около 0,005%. Еще более высокие концентрации таллия характерны для широко проявленного на этом месторождении козалита. В спутанно-волокнистых агрегатах этого минерала, выполняющих пустоты в кварце, содержание таллия достигает 0,01—0,05%, т. е. таких же количеств, как, например, в геокроните, залегающем в известняках Екатерино-Благодатского месторождения. Все эти данные свидетельствуют о том, что образование пологопадающих жил Букукинского месторождения не сопровождалось явлениями метасоматоза, которые неизбежно привели бы к широкому рассеянию таллия и галлия в жильных алюмосиликатах и продуктах окolorудных изменений.

Развитие свинцово-цинковой минерализации в условиях ограниченного проявления метасоматоза способствовало также накоплению галлия и таллия в поздних минеральных ассоциациях Шахтаминского молибденово-полиметаллического месторождения. На высокотемпературные кварц-молибденитовые руды здесь наложено свинцово-цинковое оруденение, представленное сфалеритом, галенитом, блеклыми рудами и сульфосолями свинца. Эти руды, как правило, образовывались в трещинах контракционного происхождения или в зонах дробления, отделенных от вмещающих гранитоидов экранирующим слоем тектонической глинки, и чаще всего путем заполнения приоткрытых полостей (Сотников, 1961). Эти факторы в сочетании с низкой активностью поздних гидротерм резко ограничили взаимодействие рудообразующих растворов с вмещающими гранитоидами и, по-видимому, явились одной из причин накопления таллия и галлия в сульфидных минералах. Свидетельством этого является тот факт, что содержание галлия в сфалерите Шахтаминского месторождения нередко достигает 0,010% (при среднем содержании 0,0026—0,0044%), а концентрация таллия в галените и мышьяковых блеклых рудах соответственно составляет 0,0007—0,0020 и 0,015%.

Еще один пример накопления галлия и таллия в условиях силикатной среды представляют Этыкинское оловорудное и Дарасунское золото-полиметаллическое месторождения. В рудах Этыкинского месторождения, где поздняя свинцово-цинковая минерализация не получила широкого распространения, сфалерит и галенит являются сравнительно редкими минералами. Концентрируясь главным образом в центральной части жил, они заполняют пустоты в кварце и, как правило, характеризуются повышенными концентрациями галлия (сфалерит — 0,0047%) и таллия (галенит — 0,002—0,005%).

На Дарасунском золоторудном месторождении, являющемся по своему минеральному составу своеобразным аналогом свинцово-цинковых месторождений Приаргунья, отложение главной массы сфалерита и галенита происходило на более ранних стадиях минералообразования и обычно сопровождалось процессами интенсивной хлоритизации и серицитизации вмещающих гранитоидов.

Эти процессы вызвали широкое рассеяние таллия в сериците (0,0023%) и, как следствие этого, резкое понижение его содержания в раннем галените (менее 0,0001%). Соответственно большая часть галлия оказалась связанной в хлорите (0,0041%) и сериците (0,0037%), в то время как в сфалерите его содержание упало до 0,0007%.

Однако с более поздними стадиями формирования золоторудных жил Дарасуна, для которых характерно практическое отсутствие метасоматоза, связано образование обширного комплекса типично низкотемпературных минералов, представленных блеклыми рудами, бурнонитом, галенитом, буланжеритом и менегинитом. Заполняя пустоты в кварц-карбонатном выполнении жил, все эти минералы оказались концентраторами таллия. Содержание таллия в них колеблется от 0,0005—0,0006% в тетраэдрите и бурноните до 0,0008—0,0010% в галените и 0,0018—0,0024% в буланжерите, достигая максимальных значений (0,010—0,015%) в агрегатах менегинита.

Рассмотренные примеры свидетельствуют о том, что сам факт приуроченности свинцово-цинковых месторождений к тем или иным породам еще не является надежным критерием для оценки концентраций таллия и галлия в сульфидных минералах. В частности, они показывают, что при локализации руд в силикатных породах оба эти элемента могут быть рассеяны при метасоматическом образовании свинцово-цинковых руд и будут накапливаться в сульфидных минералах в случае отложения руд путем заполнения приоткрытых полостей.

Последнее обстоятельство особенно важно для оценки перспектив галлиеносности и таллиеносности руд низкотемпературных свинцово-цинковых месторождений, приуроченных к гранитоидам, сланцам, песчаникам и эффузивам. В определенных структурных условиях процессы низкотемпературного метасоматоза в этих месторождениях могут иметь настолько ограниченное проявление, что не будут оказывать какого-либо влияния на рассеяние таллия и галлия, и вся масса этих элементов, привнесенная первичными растворами, будет накапливаться в сульфидных минералах. Возможно, что именно эти факторы и обусловили повышенную галлиеносность сфалеритов флюоритово-полиметаллических месторождений Такоб и Наугарзан (Средняя Азия), залегающих в гранитоидах (Вершковская, 1960), или же частое накопление таллия в низкотемпературных свинцово-цинковых месторождениях типа Верхней Квайсы и Тхмори в Грузии (Иваницкий, 1961), а также в других таллиеносных провинциях.

Распространение и особенности поведения редких элементов в свинцово-цинковых месторождениях Восточного Забайкалья определяются совокупностью структурно-литологических факторов: глубиной формирования руд, их положением относительно рудоподводящих каналов, типом рудовмещающих трещинных

структур, составом вмещающих пород, способом отложения рудного вещества, явлениями экранирования, телескопирования и перетолжения руд.

Структурная позиция месторождений накладывает отпечаток, с одной стороны, на генетический тип оруденения и его масштабы, а с другой — на физико-химические особенности рудообразующих растворов.

В глубинных условиях наиболее полно проявляются ранние стадии минерализации, и, следовательно, сопутствующие им редкие элементы (селен, теллур, висмут и др.) встречаются чаще и в больших количествах.

Нередко создаются благоприятные восстановительные условия, способствующие накоплению кадмия, серебра, индия и других халькофильных элементов. Резко возрастают масштабы алюмосиликатных околорудных изменений, способствующих рассеянию таллия и галлия.

В условиях незначительных глубин все более увеличивается роль поздних стадий, несущих повышенную примесь серебра, таллия, индия и других элементов. Резко снижается интенсивность околорудных изменений и происходит накопление таллия и галлия в сульфидных рудах. Возрастает роль коллоидов, способствующих накоплению высоких концентраций таллия, индия, кадмия и серебра; иногда резко возрастает кислородный потенциал, что влечет за собой полное или частичное рассеяние редких элементов-халькофилов.

Вмещающие породы могут способствовать накоплению редких элементов или же предопределяют их рассеяние. Они могут служить важным источником редких элементов, когда при циркуляции гидротерм в алюмосиликатных породах (гранитоидах, сланцах и т. п.) происходит обогащение растворов такими элементами, как таллий, галлий и др. Вмещающие алюмосиликатные породы способствуют широкому рассеянию таллия и галлия в продуктах околорудных изменений, что резко снижает их содержание в сульфидах; карбонатные породы способствуют накоплению таллия и галлия в сульфидных месторождениях.

Вмещающие породы оказывают большое влияние на режим кислотности и щелочности растворов, в связи с чем в месторождениях, залегающих в близких структурных условиях, в алюмосиликатных породах концентрации серебра и индия резко возрастают, а в чистых карбонатных породах оба эти элемента испытывают заметное рассеяние. Песчано-глинистые отложения и изверженные породы часто оказывают экранирующее воздействие на рудообразующие растворы и тем самым способствуют образованию телескопированных месторождений и скрытых рудных тел, обогащенных теми или иными редкими элементами; при этом в песчано-глинистых отложениях нередко накапливаются висмут, селен, теллур, кадмий, серебро и индий, а в месторождениях, при-

уроченных к карбонатным породам, — таллий, галлий, индий и серебро (иногда теллур и кадмий).

В зависимости от сочетания тех или иных структурных и литологических факторов в Восточном Забайкалье выделяются четыре группы свинцово-цинковых месторождений, отличающихся друг от друга характером и интенсивностью редкометальной минерализации.

1. Высокотемпературные, относительно глубинные свинцово-цинковые месторождения, приуроченные к зонам смятия и расланцевания в гранитоидах, глинистых сланцах и метаморфизованных карбонатных породах нижнепалеозойского структурного яруса (Кличкинский, частично Кадаинско-Покровский районы). Месторождения характеризуются, с одной стороны, накоплением висмута, кадмия и селена, а с другой — исключительно широким рассеянием таллия и галлия.

2. Средне-низкотемпературные близповерхностные свинцово-цинковые месторождения, локализованные в подвижных тектонических зонах верхних горизонтов нижнепалеозойского структурного яруса и связанные с зонами брекчирования и интенсивного дробления в карбонатных породах (Нерчинско-Заводский район). Для них характерно накопление таллия, галлия, индия и серебра (частично теллура), при резкой обедненности селеном и висмутом и частичном рассеянии кадмия.

3. Резко телескопированные высоко-низкотемпературные месторождения, залегающие в зонах трещиноватости в песчано-глинистых отложениях нижней-средней юры, т. е. в нижних горизонтах юрского структурного яруса (Акатуевский район). Месторождения экранируются вышележащими пачками песчано-глинистых отложений и благоприятны для накопления висмута, селена, теллура, кадмия, серебра и индия, но обеднены таллием и галлием.

4. Типично близповерхностные средне-низкотемпературные месторождения, приуроченные к зонам интенсивной трещиноватости в порфиритах верхней юры, т. е. к верхам юрского структурного яруса (Газимуро-Заводский район). Для этих месторождений характерно повышенное содержание висмута, теллура и золота, а также широкое рассеяние таких редких элементов, как кадмий, индий, галлий, таллий и селен.

Особенности распространения редких элементов в месторождениях Приаргунского свинцово-цинкового пояса Восточного Забайкалья позволяют сделать некоторые выводы, касающиеся общих вопросов металлогении этого региона.

1. Наметившиеся различия в металлогении рудных районов Приаргунья обусловлены главным образом не разновозрастностью оруденения, а особенностями геологического строения минерализованных площадей. Таким образом, подтверждается вывод С. С. Смирнова о генетическом родстве свинцово-цинковых месторождений Восточного Забайкалья.

2. Намечается геохимическое сходство рудных районов, приуроченных к различным структурно-фациальным зонам, и вместе с тем выявляются существенные различия в характере минерализации отдельных районов, расположенных в пределах одних и тех же зон.

3. Намечается полная идентичность редкометальных примесей в рудах месторождений Северного Приаргуны (Акатуевский, Газимуро-Заводский районы), залегающих в верхнеюрских эффузивах, с редкометальными примесями месторождений Южного Приаргуны (Кличкинский, Нерчинско-Заводский, Кадаинско-Покровский районы). Эти особенности подтверждают представления об одновозрастности всех этих месторождений и еще раз указывают на связь свинцово-цинковой минерализации с послеверхнеюрским магматизмом.

ЛИТЕРАТУРА

- Абрамов Ф. И., Русанов А. К. Спектрографическое исследование цинковых обманок на германий, индий, кадмий и галлий.— Труды ВИМС, 1939, вып. 141.
- Андерсон Дж. С. Геохимия индия.— В кн. «Геохимия редких элементов». Изд-во АН СССР, 1959.
- Архангельская В. В. Гидротермальное изменение пород Каменского месторождения (Забайкалье).— Труды ИГЕМ, 1959, вып. 18.
- Архангельская В. В. О возрастных соотношениях свинцово-цинковой минерализации с кварцевыми диоритами на месторождении Савинское № 5 в Восточном Забайкалье.— Геол. рудн. месторожд., 1962, № 5.
- Архангельская В. В. Геология свинцово-цинковых месторождений Кличкинского рудного района (Восточное Забайкалье).— Изд-во АН СССР, 1963.
- Бадалов С. Т., Еникеев М. Р. К геохимии кадмия в Алмалыкском и Алтын-Топканском рудных полях Карамазара.— Геохимия, 1959, № 4.
- Бадалов С. Т. О геохимической связи индия с серебром в свинцово-цинково-серебряных месторождениях.— Геохимия, 1961, № 10.
- Бетехтин А. Г. Минералогия. Госгеолтехиздат, 1950.
- Бетехтин А. Г. 1. Перенос минеральных веществ в гидротермальных растворах.— Сов. геология, 1953, сб. 1.
- Бетехтин А. Г. 2. Гидротермальные растворы, их природа и процессы рудообразования.— В кн. «Основные проблемы в учении о магматогенных рудных месторождениях». Изд-во АН СССР, 1953.
- Бетехтин А. Г. Роль вмещающей среды в процессах эндогенного рудообразования.— Записки Всес. мин. об-ва, 1957, 86, вып. 2.
- Бетехтин А. Г., Генкин А. Д., Филимонова А. А., Шадлун Т. Н. Текстуры и структуры руд. Госгеолтехиздат, 1958.
- Беус А. А., Северов Э. А., Ситний А. А., Субботин К. Д. Альбитизированные и грейзенизированные граниты (апограниты). Изд-во АН СССР, 1962.
- Бокий Г. Б., Ходашова Т. С. Кристаллохимия индия.— Мин. сб. Львов. геол. об-ва, 1959, № 13.
- Боровик С. А., Влодавец Н. И., Прокопенко Н. М. Распространение индия в свинцово-цинковых месторождениях Средней Азии. Изд-во АН СССР, 1938.
- Бурьянова Е. З. К минералогии и геохимии кадмия в осадочных породах Тувы.— Геохимия, 1960, № 2.
- Вейц Б. И., Покровская И. В., Болгов Т. Н. Минералогия полиметаллических месторождений Рудного Алтая, т. 1. Алма-Ата, 1957.
- Вершкова О. В. Галлий. Изд-во АН СССР. 1960.

- Вершковская О. В., Фабрикова Е. А. Галлий в сфалерите.— *Геохимия*, 1957, № 4.
- Виноградов А. П. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры.— *Геохимия*, 1962, № 7.
- Власов К. А. Периодический закон Д. И. Менделеева и изоморфизм. Изд-во АН СССР, 1962.
- Воробьева М. С. Минералы кадмия.— В сб. «Геохимия, минералогия и генетические типы месторождений редких элементов», т. II. Изд-во «Наука», 1964.
- Вольфсон Ф. И. Структура и генезис свинцово-цинковых месторождений Юго-Западного Карамазара. Изд-во АН СССР, 1951.
- Вольфсон Ф. И. К вопросу о классификации месторождений тяжелых цветных металлов. Сб. статей ВЗПИ, 1954.
- Вольфсон Ф. И., Кузнецов К. Ф. О закономерностях размещения свинцово-цинкового оруденения в Приаргунском полиметаллическом поясе Восточного Забайкалья.— В кн. «Закономерности размещения полезных ископаемых», т. 2. Изд-во АН СССР, 1959.
- Вольфсон Ф. И., Дружинин А. В. Закономерности размещения рудных полей в различных структурно-фациальных зонах Восточного Забайкалья. Владивосток, 1960.
- Вольфсон Ф. И. Проблемы изучения гидротермальных месторождений. Изд-во АН СССР, 1962.
- Вольфсон Ф. И. Особенности геологических структур свинцово-цинковых месторождений Восточного Забайкалья.— *Труды ИГЕМ АН СССР*, 1963, вып. 83.
- Волынский И. С. Определение рудных минералов под микроскопом, т. III. Госгеолтехиздат, 1949.
- Гармаш А. А. Особенности распространения редких элементов в полиметаллических месторождениях Змеиногорского района Рудного Алтая.— *Труды ИМГРЭ*, 1960, вып. 4.
- Индий. Требования промышленности к качеству минерального сырья, вып. 53. Госгеолтехиздат, 1948.
- Гармаш А. А., Кузнецов К. Ф., Мейтув Г. М. Методы изучения и подсчета запасов редких элементов в сульфидных рудах.— *Труды ИМГРЭ*, 1961, вып. 5.
- Гетманская Т. И., Новикова М. И. Эвклаз в пневматолито-гидротермальных месторождениях.— Серия «Геология месторождений редких элементов», вып. 28. Изд-во «Недра», 1966.
- Гинзбург А. И. Типы редкометалльных месторождений, генетически связанных с различными интрузивными комплексами.— В кн. «Магматизм и связь с ним полезных ископаемых». Изд-во АН СССР, 1960.
- Гинзбург А. И. и др. Типы месторождений редких элементов и их поисковые критерии. Серия «Геология месторождений редких элементов», вып. 14. Госгеолтехиздат, 1961.
- Гольдшмидт В. М. Принципы распределения химических элементов в минералах и горных породах.— В кн. «Сборник статей по редким элементам». М., ИЛ, 1938.
- Григорьев И. Ф., Доломанова Е. И. Об оловорудных месторождениях переходных типов между месторождениями касситерит-кварцевой и касситерито-сульфидной формации.— В сб. «Вопросы геологии южной части Дальнего Востока и Забайкалья».— *Труды ИГЕМ*, 1959, вып. 23.
- Иваницкий Т. В., Гварамдзе Н. Д. К вопросу содержания и распространения некоторых рассеянных элементов в главнейших сульфидах свинцово-цинковых месторождений Грузии.— *Геохимия*, 1960, № 2.
- Иванов В. В. Об особенностях поведения таллия в месторождениях различного возраста.— *Труды ИМГРЭ*, 1959, вып. 3.
- Иванов В. В. О явлениях гипогенного замещения минералов в касситерито-сульфидных рудах.— *Геол. рудных месторожд.*, 1960, № 4.

- Иванов В. В. К геохимии кадмия в месторождениях Депутатской группы.— Геохимия, 1961, № 2.
- Иванов В. В. Минералого-геохимические черты и индиенность оловорудных месторождений Якутии. Изд-во «Наука», 1964.
- Иванов В. В., Волгин В. Ю. К распространению индия в оловянных и олово-полиметаллических месторождениях.— Материалы Читинского регионального совещ. Чита, 1958.
- Иванов В. В., Лизунов Н. В. Индий в некоторых оловорудных месторождениях Якутии.— Геохимия, 1959, № 4.
- Иванов В. В., Волгин В. Ю., Краснов А. А., Лизунов Н. В. Таллий. Изд-во АН СССР, 1960.
- Иванов В. В., Лизунов Н. В. О закономерностях размещения концентраций индия.— В кн. «Закономерности размещения полезных ископаемых», т. 3. Изд-во АН СССР, 1960.
- Иванов В. В., Розбианская А. А. Геохимия индия в касситеритово-силикатно-сульфидных рудах.— Геохимия, 1961, № 1.
- Козеренко В. Н. Геологическое строение юго-восточной части Восточного Забайкалья. Львов, 1956.
- Козеренко В. Н. Геологическая характеристика Приаргунской полиметаллической зоны.— Труды ИГЕМ АН СССР, 1963, вып. 83.
- Колтун Л. И., Локерман А. А. Некоторые итоги минералотермометрического изучения полиметаллических месторождений Восточного Забайкалья.— Вестник Львов. гос. ун-та, серия геол., 1962, № 1.
- Комарова Г. Н. О флюорит-слюдистой минерализации в карбонатных породах Забайкалья.— Геол. рудных месторожд., 1965, № 1.
- Комарова Г. Н., Новороссова Л. Е. О поведении олова и индия в коллоидных агрегатах касситерита из Джалиндзинского месторождения на Малом Хингане.— Геохимия, 1959, № 8.
- Коржинский Д. С. Гидротермальная кислотно-щелочная дифференциация.— Докл. АН СССР, 1958, 122, № 2.
- Кормилицин В. С. Некоторые закономерности формирования полиметаллических месторождений Нерчинско-Заводской группы.— Сов. геология, 1955, № 43.
- Кормилицин В. С. Основные черты мезозойской металлогении Восточного Забайкалья.— Сов. геология, 1959, № 12.
- Кузнецов К. Ф. Геокронит в рудах Екатерино-Благодатского месторождения.— Докл. АН СССР, 1957, 114, № 4.
- Кузнецов К. Ф. Редкие и рассеянные элементы в рудах некоторых полиметаллических месторождений Нерчинско-Заводской группы.— Труды ИМГРЭ, 1959, вып. 2.
- Кузнецов К. Ф. Роль трещинных структур в формировании грубчатых рудных тел Екатерино-Благодатского месторождения.— В кн. «Структура рудных полей и месторождений». Изд-во АН СССР, 1960.
- Кузнецов К. Ф. Опыт применения редких элементов при изучении металлогении рудных районов.— Труды IV конф. ИМГРЭ, 1962.
- Кузнецов К. Ф. 1. Основные черты геологического строения Нерчинско-Заводского района.— В кн. «Свинцово-цинковые месторождения Восточного Забайкалья». Изд-во АН СССР, 1963.
- Кузнецов К. Ф. 2. Геология, структура и вещественный состав руд Екатерино-Благодатского месторождения.— В кн. «Свинцово-цинковые месторождения Восточного Забайкалья». Изд-во АН СССР, 1963.
- Кузнецов К. Ф. 3. Геология, структура и вещественный состав руд Ивановского месторождения.— В кн. «Свинцово-цинковые месторождения Восточного Забайкалья». Изд-во АН СССР, 1963.
- Кузнецов К. Ф., Мейтув Г. М., Читаева Н. А., Лизунов Н. В. Закономерности распределения редких элементов в полиметаллических месторождениях Восточного Забайкалья.— Труды ИМГРЭ, 1959, вып. 3.

- Лазаренко Е. К. О химическом составе цинковых обманок Донецкого бассейна.— Записки Мин. об-ва, 1944, вып. 1 (73).
- Лебедева С. И. Определение микротвердости минералов. Изд-во АН СССР, 1963.
- Лебедева С. И., Мейтув Г. М., Александрова Р. А. Способ извлечения микропробы минерала из аншлифа.— В кн. «Минеральные микровключения». Изд-во «Наука», 1965.
- Магакьян И. Г. Рудные месторождения. Изд-во АН Арм. ССР, 1961.
- Мезон Б. Окисление и восстановление в геохимии.— В кн. «Вопросы физико-химии в минералогии и петрографии». Госгеолиздат, 1950.
- Мейтув Г. М. К геохимии редких элементов свинцово-цинковых месторождений Кличкинского района (Восточное Забайкалье).— Геохимия, 1962, № 7.
- Мейтув Г. М. Особенности процесса рудообразования и редкие элементы в рудах свинцово-цинковых месторождений Кличкинского рудного района.— Труды ИМГРЭ, 1963, вып. 10.
- Михеев В. И. Рентгенометрический определитель минералов. Госгеолтехиздат, 1957.
- Моисеева М. И. Сфалериты Юго-Западного Карамазара.— Записки Узб. отдел. ВМО, 1959, вып. 13.
- Нечелюстов Н. В., Попова Н. Н., Минцер Э. Ф. Распределение элементов-примесей в процессе гипогенного минералообразования в свинцово-цинковых и медно-молибденовых месторождениях Карамазара.— Труды ИМГРЭ, 1961, вып. 5.
- Поваренных А. С. О некоторых основных вопросах кристаллохимии и их понимание в минералогии.— Записки Всес. мин. об-ва, 1955, 84, вып. 4.
- Полякова О. П. 1. Геокронит из Смирновского месторождения (Восточное Забайкалье).— Труды Мин. музея, 1957, вып. 8.
- Полякова О. П. 2. О франкейте из оловянно-полиметаллических руд Смирновского месторождения (Восточное Забайкалье).— Труды Мин. музея, 1957, вып. 8.
- Полякова О. П. Свинцово-цинковые месторождения Кадаевского рудного поля.— Труды ИГЕМ, 1963, вып. 83.
- Прокопенко Н. М. 1. Поисковые признаки на индий.— Докл. АН СССР, 1941, 31, № 1.
- Прокопенко Н. М. 2. Распространение индия в Забайкалье.— Докл. АН СССР, 1941, 31, № 9.
- Радкевич Е. А., Архангельская В. В., Полякова О. П. Некоторые вопросы генезиса и закономерностей распределения свинцово-цинковых месторождений Восточного Забайкалья.— Труды ИГЕМ, 1963, вып. 83.
- Рамдор П. Рудные минералы и их сростания. М., ИЛ, 1962.
- Робинсон С. К. Синтез сульфоантимонитов свинца.— В кн. «Вопросы физико-химии в минералогии и петрографии». Госгеолиздат, 1950.
- Синдеева Н. Д. Минералогия, типы месторождения и основные черты геохимии селена и теллура. Изд-во АН СССР, 1959.
- Синдеева Н. Д., Годовиков А. А. Об изоморфизме между серой и теллуrom в галените.— Докл. АН СССР, 1959, 127, № 2.
- Смирнов С. С. Полиметаллические месторождения Восточного Забайкалья. ОНТИ, 1934.
- Смирнов С. С. Зона окисления сульфидных месторождений. Л., 1936.
- Смирнов С. С. Очерк металлогении Восточного Забайкалья. Госгеолиздат, 1944.
- Смирнов С. С. К минералогии некоторых полиметаллических руд Забайкалья. Избр. труды. М., Изд-во АН СССР, 1955.
- Сотников В. И. Геологические условия формирования Шахтаминского молибденово-полиметаллического месторождения. Новосибирск, 1961.

- Талдыкина К. С. Стадии минералообразования в полиметаллическом месторождении Савинское № 5.— Вестник Ленингр. ун-та, 1959, № 6.
- Талдыкина К. С. Минералогия полиметаллических месторождений Кличкинской группы Восточного Забайкалья. Изд-во АН СССР, 1962.
- Тихомирова В. В. Галлий в сурьмяно-ртутных месторождениях.— Труды ВИМС, 1960, вып. 1.
- Томсон И. Н., Иванов И. Б., Константинов Р. М., Лобанова Г. М., Полякова О. П. Об абсолютном возрасте мезозойских магматических комплексов и рудных формаций Восточного Забайкалья.— Изв. АН СССР, серия геол., 1963, № 12.
- Трофимов Н. Н., Полякова О. П., Малиновский Е. П. Свинцово-цинковые месторождения Смирновского рудного поля.— Труды ИГЕМ, 1963, вып. 83.
- Ферсман А. Е. Геохимия, т. 1—4. Госхимиздат, 1933—1939.
- Хетчиков Л. Н. и др. Закономерности распределения индия в некоторых оловянно-полиметаллических и полиметаллических месторождениях Приморья.— В сб. «Тезисы докл. на Сессии Совета ДВФ СО АН СССР по итогам науч. исследов. за 1957 г.». Владивосток, 1958.
- Хитаров Н. И., Москалюк А. А. Экспериментальные данные к вопросам генезиса свинцового оруденения.— Сов. геология, 1955, № 43.
- Читаева Н. А. Геологическое строение Явленского рудного поля.— Труды ИГЕМ, 1963, вып. 83.
- Эфендиев Г. Х., Нейман-заде Б. Галлий в важнейших сульфидных и алунитах Азербайджанской ССР.— Докл. АН Азерб. ССР, 1947, № 8.
- Ясинская А. А. О зависимости главнейших физических свойств цинковых обманок от химического состава.— Мин. сб. Львовск. геол. об-ва, 1951, № 5.
- Anderson J. S. Observation on the geochemistry of indium.— *Geochim. et Cosmochim. Acta*, 1953, 4, № 5.
- Богданов Б. Рассеяни элементы в оловно-цинковите руды от Маданския район. София, 1960.
- Богданов Б. Стадии на минерализация минерална парагенеза и зоналност в оловно-цинковите месторождения от Маданския и Неделинския руден район. София, 1961.
- Brewer F. M., Baker E. 1936, J. C. S., 1286.
- Canneri G., Fernandes L. Contributo allo studio di alunni minerali contenenti talio. Analisi termica dei sistemi: $Tl_2S-As_2S_3$; Tl_2S-PbS .— *Atti Accad. naz. Lincei*, ser. 6, 1925, 1, No 9.
- Goldschmidt V. M. *Geochemistry*. Oxford, 1954.
- Haranczyk C. O. Niektorych prawidlowosciach w wystepowaniu pierwiastkow sladowych w mineralach triasu Slasko-Krakowskiego.— *Przegl. geol.*, 1956, zeszyt 8.
- Hurlbut G. S. The wurtzite-greenockite series. Harvard Universitet Cambridge, Massachusetts.— *Amer. Miner.*, 1957, 42, No 3—4, p. 184.
- Jan Kuhl. Widawska Janina. Uwagi o wystepowaniu pierwiastkow sladowych w cynkowo-olowiowych rudach triasu Slasko-Krakowskiego.— *Przegl. geol.*, 1958, 1.
- Mason B. Oxidation and reduction in geochemistry.— *J. Geol.*, 1949, 57, 1.
- Минчева-Стефанова И. Принос към минералогията и геохимията на рудното месторождение мина «Ватия» — Ботевградско. София, 1959.
- Robinson S. C. Synthesis of lead sulphoantimonites.— *Econ. Geol.*, 1948, 43, 4.
- Show D. M. The Geochemistry of indium.— *Geochim. et Cosmochim. Acta*, 1952, 2, No 3.
- Schroll E. Über Unterschiede im Spurengehalt bei Würtziten Schallenblenden und Zinkblenden — *Sitzungsber., Österr. Akad. Wiss., Abt. 1*, 1953, 162, H. 5.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	5
<i>Глава первая</i>	
Геохимия таллия, индия и серебра в свинцово-цинковых месторождениях Северо-Восточного Приаргуныя (К. Ф. Кузнецов)	8
Общие сведения о геологии и месторождениях района	8
Таллий	16
Индий	29
Серебро	48
<i>Глава вторая</i>	
Минеральный состав руд свинцово-цинковых месторождений Юго-Западного Приаргуныя и особенности распространения в них редких элементов (Г. М. Мейтус)	59
Краткие сведения о геологическом строении Кличкинского района	59
Сравнительная характеристика свинцово-цинковых месторождений Кличкинского района	63
Минеральные ассоциации и стадии минералообразования	6
Рудообразующие минералы	91
Геохимические особенности распространения и поведения редких элементов и элементов-примесей в рудах свинцово-цинковых месторождений Кличкинского района	145
Генетические особенности формирования свинцово-цинковых месторождений Кличкинского района	165
<i>Глава третья</i>	
Структурно-литологические факторы накопления редких элементов в свинцово-цинковых месторождениях Приаргуныя (Восточное Забайкалье) (К. Ф. Кузнецов)	175
Приаргунский свинцово-цинковый пояс	176
Зависимость поведения редких элементов от структурных условий образования месторождений	190
Зависимость поведения редких элементов от состава рудовмещающих пород	217
Литература	241

*Кузнецов Константин Федорович,
Мейтус Григорий Маркович*

**Геохимия редких элементов
в свинцово-цинковых месторождениях
Восточного Забайкалья**

*Утверждено к печати
Институтом минералогии, геохимии
и кристаллохимии редких элементов*

Редактор издательства С. С. Мухин
Технический редактор А. П. Гусева

Сдано в набор 17/IX 1966 г. Подписано к печати 12/Т 1967 г.
Формат 63×90^{1/16}. Бумага машиномелованная. Усл. печ. л. 15,5.
Уч.-изд. л. 16,2 Тираж 1100 экз.
Т-01026. Тип. зак. 1384.

Цена 1 р. 13 к.

Издательство «Наука».
Москва, К-62, Подосенский пер., 21

2-я типография издательства «Наука».
Москва, Г-99, Шубинский пер., 10



К 50-ЛЕТИЮ ВЕЛИКОЙ ОКТЯБРЬСКОЙ СОЦИАЛИСТИЧЕСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ

Выдет в 1967 году:

РАЗВИТИЕ НАУК О ЗЕМЛЕ В СССР ЗА 50 ЛЕТ

В книге освещаются итоги развития наук о Земле за 50 лет Советской власти. В составлении книги приняли участие крупные специалисты по наукам о Земле (геофизики, геологи, географы и др.). В состав авторского коллектива входят академики А. П. Виноградов, И. П. Герасимов, П. Я. Полубаринова-Кочина, В. И. Смирнов, члены-корреспонденты АН СССР Г. А. Авсюк, М. И. Будыко, И. И. Горский, Л. А. Зенкевич, П. Н. Кропоткин, А. М. Обухов, Е. Ф. Саваренский, В. Е. Хаин и другие известные советские ученые.

Книга состоит из разделов, в которых отражается развитие наук, изучающих ту или иную сферу Земли (околоземное пространство, атмосферу, гидросферу, сушу, биосферу, земную кору и верхнюю мантию). Она знакомит читателя с наиболее важными достижениями, с деятельностью крупнейших отечественных школ, изучающих многочисленные проблемы развития Земли. Во многих статьях развитие научных исследований показано в связи с запросами практики; рассказывается, как ученые помогали решать народно-хозяйственные задачи на отдельных этапах истории Советского государства.

Книга рассчитана на геологов, геофизиков, географов — научных работников, аспирантов, студентов, а также на широкие круги читателей, интересующихся развитием наук о Земле.

Объем 55 л. Цена 3 р. 40 к. (ориентировочно).

Ваш заказ следует прислать по адресу: Москва, В-463, Мичуринский проспект, 12, магазин «Книга — почтой» «Академкнига» или в ближайший магазин «Академкнига»

Адреса магазинов «Академкнига»:

Москва, ул. Горького, 8 (магазин № 1); ул. Вавилова, 55/5 (магазин № 2); Ленинград, Д-120, Литейный проспект, 57; Свердловск, ул. Белинского, 71-в; Новосибирск, Красный проспект, 51; Киев, ул. Ленина, 42; Харьков, Уфимский пер., 4/6; Алма-Ата, ул. Фурманова, 139; Ташкент, ул. Карла Маркса, 29; ул. Шота Руставели, 43; Баку, ул. Джапаридзе, 13; Уфа, проспект Октября, 129; Коммунистическая, 49; Фрунзе, бульвар Дзержинского, 41.

1 р. 13 к.

1907



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»