

В. П. РАХМАНОВ, Ф. А. ШУТЛИВ

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ РУД ВОСТОЧНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ

Вопросам минералогии полиметаллических руд месторождений Восточного Забайкалья посвящена обширная литература.

Повышенный интерес к этой металлогенической провинции проявился еще в конце XVII и начале XVIII вв., когда в результате проведения опытных плавок выяснилась возможность получения из свинцово-цинковых руд серебра.

В XIX в. появляются обширные сводные описания по геологии и металлогении Восточного Забайкалья, в которых приводятся и сведения по минералогии отдельных рудных узлов и месторождений (Соколовский, 1836; Озерский, 1857 и др.).

После Великой Октябрьской социалистической революции начинается новый этап в изучении и промышленном освоении полиметаллических месторождений Приаргунья.

В 1925 г. к изучению этой обширной металлогенической провинции приступает С. С. Смирнов (1933, 1955 а, б), который в результате проведенных им исследований выделил различные типы полиметаллических месторождений в Восточном Забайкалье. Он впервые дал детальное описание как главных рудообразующих минералов (галенита, сфалерита, пирита и др.), так и второстепенных и редко встречающихся минералов, входящих в состав отдельных парагенетических ассоциаций, характеризующих различные типы полиметаллических месторождений.

С. С. Смирнов условно подразделил всю территорию Восточного Забайкалья на три больших рудоносных пояса, простирающихся с юго-запада на северо-восток: полиметаллических (юго-восточный), оловянно-вольфрамовый (центральный) и золото-молибденовый (северо-западный).

Работы С. С. Смирнова сыграли большую роль в проведении целеустремленных поисков на свинец и цинк, олово и вольфрам, золото и молибден.

Проводимые в послевоенное время геолого-поисковые и геолого-разведочные работы на территории Восточного Забайкалья дают новый фактический материал, который не только углубляет металлогеническую схему С. С. Смирнова, но и вносит в нее серьезные коррективы.

При написании настоящего минералогического очерка нами использовались результаты личных полевых наблюдений и камеральных исследований, а также работы других авторов по этому региону.

ПРИУРОЧЕННОСТЬ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ К РАЗЛИЧНЫМ ПОРОДАМ, УСЛОВИЯ ЗАЛЕГАНИЯ И ФОРМЫ РУДНЫХ ЗАЛЕЖЕЙ

Подавляющее большинство месторождений свинца и цинка в Восточном Забайкалье расположено в Приаргунье, которое С. С. Смирнов (1933) выделяет под названием полиметаллического пояса Восточного Забайкалья. Генетически эти месторождения связаны с карбонатными породами: известняками, доломитизированными известняками, доломитами и реже — кристаллическими сланцами. К числу их относятся такие широко известные месторождения, как Кличкинское, Кадаинское, Савинское № 5, Благодатское, Трехсвятительское, Почекуевское, Смирновское, Акатуевское и многие другие. Наряду с этим открыты и разведаны полиметаллические месторождения, приуроченные к андезито-дацитовым порфирирам, имеющие благоприятные перспективы увеличения запасов. Сюда следует отнести Ново-Широкинское, Ширинское, Козулинское и другие месторождения.

Однако за последнее время отчетливо выявляется новый тип полиметаллических месторождений. В морфологическом отношении и по ряду других признаков он может быть охарактеризован как штокверковый. Месторождения, характеризующие этот тип, являются комплексными, т. е. кроме сульфидов свинца и цинка, имеющих подчиненное значение, они содержат другие промышленно важные полезные компоненты, такие, как олово, вольфрам, молибден и т. д. В качестве примера здесь можно привести два наиболее характерных штокверковых месторождения: Шерлогогорское (оловянно-вольфрамовое) и Бугдаинское (молибденовое). Как в первом, так и во втором месторождении свинцово-цинковая минерализация приурочена к не карбонатным породам (кварцевым порфирирам, гранитам и др.).

Рудные тела, залегающие в карбонатных и не карбонатных породах, имеют много общих черт и будут рассмотрены нами совместно, с указанием их характерных особенностей.

Полиметаллические месторождения в известняках и доломитизированных их разновидностях часто на контакте с кристаллическими сланцами (кварцево-углисто-графитовыми, кварцево-серицитовыми и др.) характеризуются следующими формами рудных залежей:

а) гнездообразными и трубчатыми рудными телами сложной конфигурации (Благодатское, Трехсвятительское месторождение и др.);

б) жильными рудными телами, локализующимися в тектонических трещинах. По своему характеру они могут быть как пластовыми и послойными, так и секущими с углом падения от 60 до 90°. Галенит, сфалерит, пирит и пирротин часто заполняют мельчайшие тектонические трещинки в породе. Этот тип характерен для Кличкинского, Почекуевского, Акатуевского и ряда других месторождений;

в) пластовыми рудными телами (Екатерино-Благодатское, Смирновское месторождения и др.);

г) прожилково-вкрапленный тип оруденения (Ново-Широкинское, Козулинское и др.).

Для месторождений же, залегающих в гранитоидных и эффузивных породах (Бугдаинское, Шерлогогорское, Шахтаминское и др.), — штокверковый тип оруденения, характерны секущие трещинно-жильные рудные тела, в которых количественно галенит и сфалерит начинают уже преобладать над другими полезными компонентами (рис. 1). Породы, вмещающие жильные тела, часто сами бывают обогащены сульфидами свинца и цинка, представляя собой по существу полиметаллические руды вкрапленной тек-

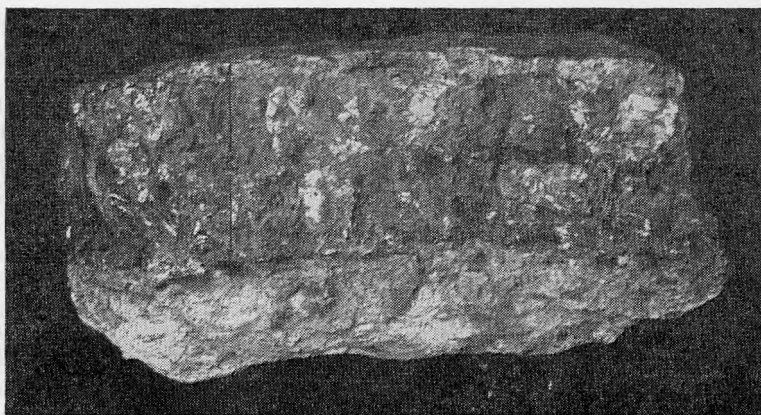


Рис. 1. Галенитовый прожилок с вкрапленностью сфалерита в гидротермально измененном, осветленном биотитовом граните. Бугдаинское месторождение, штольня № 1. Нат. вел. М — мощность прожилка

стуры. В большинстве своем месторождения, относимые к этому типу, имеют пониженные содержания свинца и цинка в рудах. Однако широко организованная массовая переработка рудных концентратов на заводах, по-видимому, допускает вполне рентабельное их извлечение из комплексных руд.

ПЕРВИЧНЫЕ РУДЫ И ГЕНЕЗИС ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Минералогия и типы первичных руд

Минералогический состав руд в полиметаллических месторождениях Восточного Забайкалья довольно однообразен. Главными минералами являются галенит, сфалерит и пирит. К второстепенным и реже встречающимся минералам относятся арсенопирит и буланжерит; в числе примесей чаще всего находим пирротин, халькопирит и марказит.

Характер и парагенетические ассоциации нерудных минералов определяются составом вмещающих пород. Так, нерудные минералы в рудовмещающих карбонатных породах представлены в основном доломитом, анкеритом, кальцитом и реже кварцем, хлоритом и серицитом. В гранитоидных же и эффузивных породах встречаются плагиоклазы, К-полевой шпат, кварц, амфиболы, пироксены, слюды, представленные биотитом, мусковитом и серицитом.

По минеральному составу среди полиметаллических руд выделяются следующие типы:

I. Галенито-сфалерито-пиритовый. Преобладающим минералом в этом типе руд является галенит.

II. Пирито-сфалерито-галенитовый.

III. Арсенопиритовый. Сфалерит и галенит присутствуют в подчиненных количествах.

Выделяются также второстепенные типы руд, в которых широким развитием пользуются буланжерит и пирротин.

В полиметаллических рудах Акатуевского месторождения ряд исследователей выделяет: IV буланжеритовый (существенно) и V — пирротино-пиритовый типы руд.

Широкое распространение того или иного сульфидного минерала кладется в основу выделяемых типов руд, среди которых может быть ряд переходных разновидностей.

Данные наших исследований позволяют выделить на Бугдаинском молибденовом месторождении галенито-сфалеритовый тип руд, в котором главным рудным минералом является галенит. К второстепенным относятся сфалерит, пирит и арсенопирит. Халькопирит, ковеллин и другие сульфиды распространены незначительно.

Текстурно-структурные особенности первичных руд

Изучение текстур первичных руд нередко помогает пространственно воссоздать картину (ход) формирования данного полезного компонента. Текстуры руд являются частичным отражением их генезиса. Так, по общепринятому мнению, метасоматическое замещение массивных и брекчированных доломитов и известняков в процессе рудообразования приводит к возникновению массивной, брекчиевидной и брекчиевой рудных текстур, — наиболее распространенных во всех полиметаллических месторождениях Приаргуныя. К часто встречающимся текстурам на месторождениях свинца и цинка, приуроченных к карбонатным породам, относятся также текстуры жильная, пересечения, полосчатая, разлома.

Текстуры жильные, пересечения и вкрапленные характерны для комплексных месторождений, залегающих в эффузивных и гранитоидных породах (Бугдаинское, Шерловогорское и др.).

В качестве редких видов текстур, встречающихся на месторождениях и приуроченных к различным породам (доломитам, известнякам, гранитам, кварцевым порфирирам и др.), относятся крустификационные и симметрично-полосчатые.

Структурные особенности полиметаллических руд также предопределяются условиями их образования из гидротермальных растворов в процессе метасоматического замещения карбонатных, эффузивных и гранитоидных пород и дальнейшей перекристаллизации рудных компонентов.

Подавляющее большинство свинцово-цинковых руд является среднезернистыми. Величина зерна их обычно не превышает 1,5—2 мм. Однако в одних и тех же штуфах наблюдаются участки, в которых зерна пирита, галенита, сфалерита и других сульфидов бывают и мелкими (менее 0,1 мм) и крупными (более 2,0 мм). Такие локальные участки в рудах образуют смешанные структурные разновидности от мелкозернистой до крупнозернистой.

С целью выявления внутреннего строения ряда минералов, входящих в состав полиметаллических руд, нами проводилось минераграфическое исследование (включая электротравление) многочисленных полированных шлифов с месторождений, расположенных в Александровско-Заводском районе (Меркурьевское, Северо-Акатуевское и др.), результаты которого излагаются ниже.

Стадийность и динамометаморфизм при формировании полиметаллических месторождений накладывают свой отпечаток и на взаимоотношение рудных минералов. Нередко аллотриоморфнозернистые, гипидиоморфнозернистые и другие текстуры осложняются в процессе более поздних метаморфических преобразований полиминеральных зернистых агрегатов, из которых состоит руда. На динамометаморфизм, проявившийся после отложения галенита, сфалерита и пирита из гидротермальных рудоносных растворов, указывает, в частности, двойниковое строение сфалеритовых зерен, отчетливо выявляемое при травлении последних в аншлифах парами концентрированной соляной кислоты.

К минералам индикаторам, при помощи которых, по-видимому, можно судить о признаках метаморфизма в полиметаллических рудах, можно отнести и пириты.

В работах А. Н. Заварицкого (1943), С. Н. Иванова (1943, 1950) и Т. Н. Шадлуна (1950) по колчеданным месторождениям Южного и Среднего Урала отмечалась уже определенная связь между формой кристаллов и внутренним строением зерен пирита, с одной стороны, и динамометаморфизмом — с другой. Было подмечено, что в колчеданных месторождениях, неизмененных или слабо затронутых процессами динамометаморфизма, распространены кристаллы пирита главным образом в виде пентагондодекаэдров, которые при электролитическом травлении дают четкую зональную структуру. Месторождения же, претерпевшие динамический метаморфизм, содержат кристаллы пирита в форме кубов, которые, при действии на них кислотой и при пропускании электрического тока, иногда обнаруживают своеобразное реликтовое зональное внутреннее строение, часто указывающее на изменение первоначальных кристаллических форм минерала (пентагондодекаэдров на кубы) в процессе метаморфизма. По мере перехода от слабо метаморфизованных месторождений к более сильно метаморфизованным зональные фигуры в пиритах постепенно затушевываются, границы между зонами стираются и исчезают.

Макроскопическое изучение штуфов и микроскопическое исследование полированных шлифов полиметаллических руд, взятых с различных месторождений Восточного Забайкалья, позволили прийти к следующим выводам. На всех без исключения полиметаллических месторождениях встречается пирит. Вне зависимости от того приурочены ли полиметаллические руды к известнякам или доломитам, к эффузивным или интрузивным породам, в них отчетливо выделяются две генерации пирита: мелкозернистая и крупнозернистая (рис. 2 и 3).

Эти две генетические разновидности и различаются по своим морфологическим особенностям. Крупнозернистый пирит в процессе перекристаллизации образует кристаллы в форме кубов (гексаэдры), которые при электролитическом травлении обнаруживают зональность (рис. 4 и 5).

На приведенных фотоснимках протравленных полированных поверхностей пиритовых зерен в аншлифах различаются зерна зонального сложения (зоны роста) в виде многоугольников — пятиугольников, шестиугольников и неправильных геометрических фигур, которые не всегда соответствуют внешним ограничениям кристаллов. Геометрический анализ сечений кристаллов пирита различной формы, проведенный в свое время С. Н. Ивановым для колчеданных руд Урала (1950), показывает, что шестиугольники и пятиугольники в сечениях дают чаще всего пентагондодекаэдры, реже октаэдры и совсем редко гексаэдры. Несоответствие вытравленных геометрических фигур, полученных внутри зерен пирита, его внешним ограничениям свидетельствует о динамическом метаморфизме, который претерпели руды Акатуевского и других месторождений, а также о том, что в процессе перекристаллизации произошла замена одних кристаллических форм другими (пентагондодекаэдров кубами). Современная преобладающая форма кристаллов пирита на месторождении — куб.

А. Н. Заварицкий (1943) считает, что минералы, образующиеся при динамометаморфизме в горных породах, развиваются в простых кристаллических формах и с простейшими символами, в частности для пирита (100).

В отдельных аншлифах мы наблюдали протравленные кристаллы пирита с едва заметной зональностью, в которых зоны роста проявляются очень слабо, а порой и совсем отсутствуют. Это явление, по-видимому, имеет прямую связь с метаморфизмом, который приводил при перекристаллизации к исчезновению зон роста в пиритах.

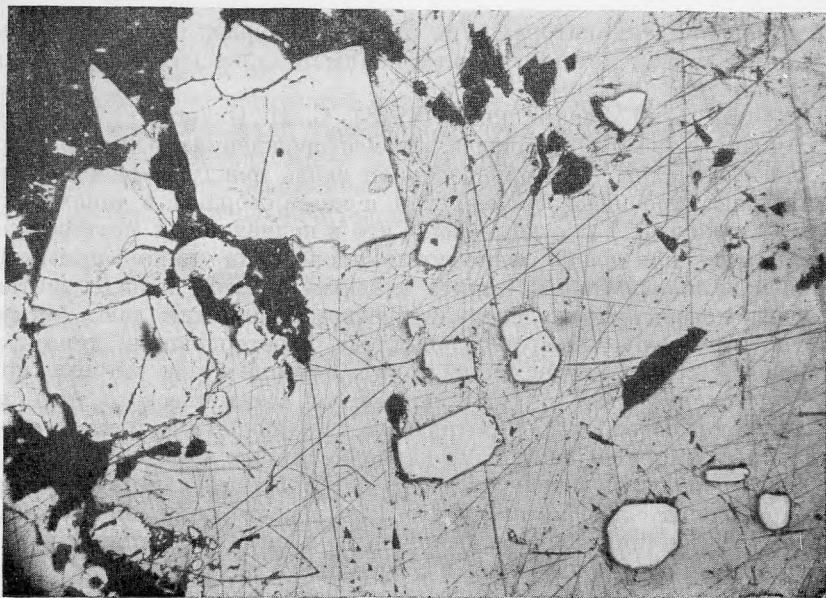


Рис. 2. Крупнозернистые идиоморфные кристаллы пирита на контакте галенита (светло-серое) и карбоната (черное). Мелкие зерна пирита заключены в галенитовом цементе. Месторождение Северо-Акатувское. Полированный шлиф, $\times 70$

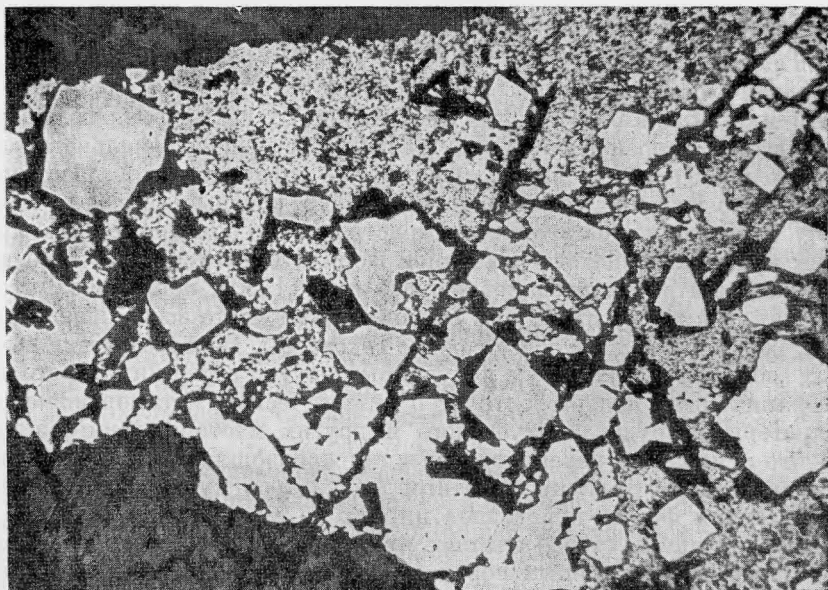


Рис. 3. Выделение пиритов двух генераций (крупно- и мелкозернистого) в известняке. Месторождение Северо-Акатувское. Полированный шлиф, $\times 70$

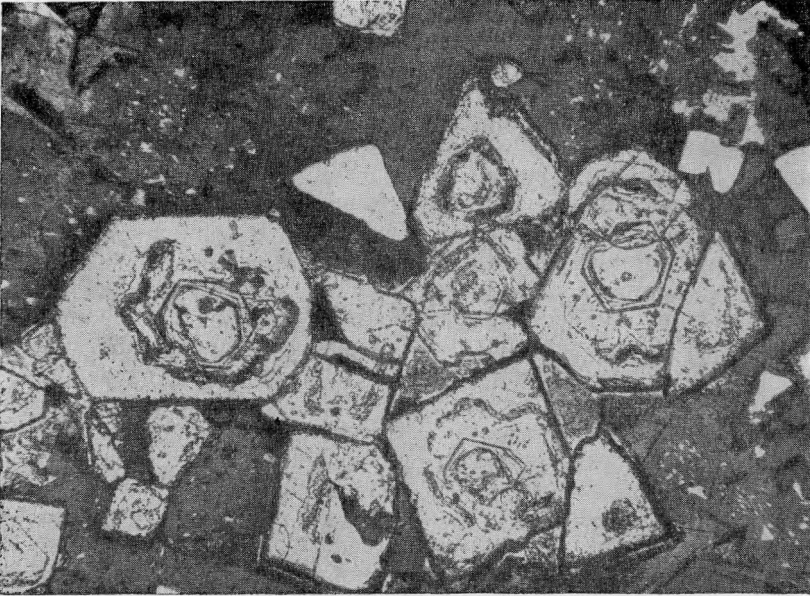


Рис. 4. Кристаллически-зональная внутренняя структура пирита. Месторождение Северо-Акатуевское. Полированный шлиф. Протравлено, $\times 120$



Рис. 5. Кристаллически-зональная внутренняя структура пирита. Месторождение Северо-Акатуевское. Полированный шлиф. Протравлено, $\times 120$

Парагенезис и последовательность отложения минералов

В своих работах, посвященных исследованию полиметаллических руд Восточного Забайкалья, С. С. Смирнов выделил три стадии процесса рудоотложения: высокотемпературную, среднетемпературную и низкотемпературную. Каждая стадия такого процесса характеризуется определенной парагенетической ассоциацией в рудных залежах. В порядке последовательности отложения из гидротермальных растворов все основные рудные минералы располагаются в следующий ряд: арсенопирит, пирит, сфалерит, галенит и буланжерит. Так, например, наблюдаемые нами идиоморфные кристаллы арсенопирита и пирита в галенито-сфалеритовых рудах из полиметаллических месторождений Акатуевской группы (включая и Меркурьевское месторождение) своей хорошей кристаллической огранкой свидетельствуют о ярко проявленной в этом районе высокотемпературной стадии минералообразования (арсенопирито-пиритовой). Однако наличие скелетных и реликтовых структур арсенопирита, наблюдаемых в аншлифах (фиг. 6), предполагает существование и более поздних гидротермальных растворов, из которых отлагались кварц и карбонаты (сидерит, анкерит, доломит и кальцит), метасоматически замещающие ранее выделившиеся рудные минералы: арсенопирит и пирит.

Для этого рудного района нами выделяется семь главных этапов или стадий минералообразования: 1) карбонатно-кварцевая, 2) арсенопирито-пиритовая, 3) сфалеритовая, 4) пирротиновая, 5) галенитовая, 6) буланжеритовая, 7) карбонатно-кварцевая (эпигенетическая — низкотемпературная).

Такая закономерная последовательность в выделении главных рудообразующих минералов подтверждается и минераграфическими исследованиями. На признаки динамометаморфизма, которые претерпели руды

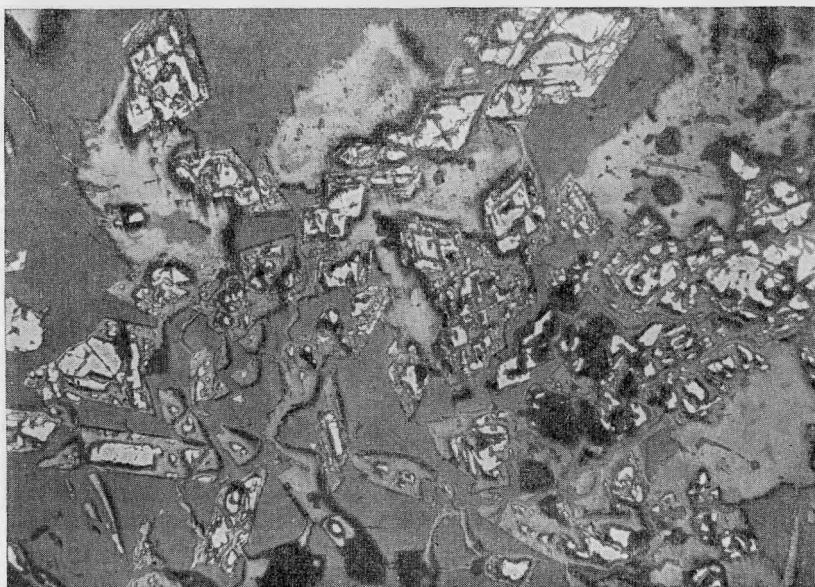


Рис. 6 Скелетная структура замещения арсенопирита кварцем. Месторождение Меркурьевское. Полированный шлиф, $\times 70$



Рис. 7. Деформированный галенит (белое). Черные выбоины внутри него «треугольники выкращивания» (следы спайности). Месторождение Бугдаинское. Полированный шлиф, $\times 70$

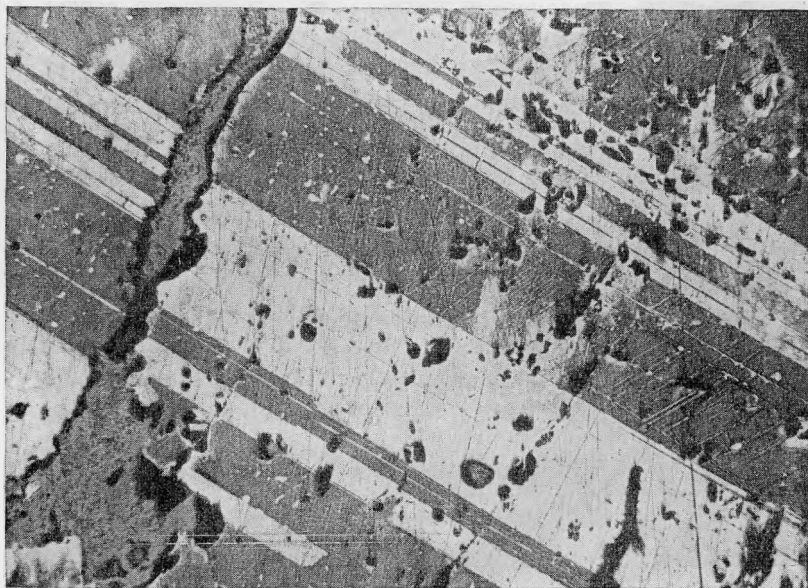


Рис. 8. Микробросы в полисинтетических двойниках сфалерита. Месторождение Северо-Акагуевское. Полированный шлиф. Протравлено, $\times 70$

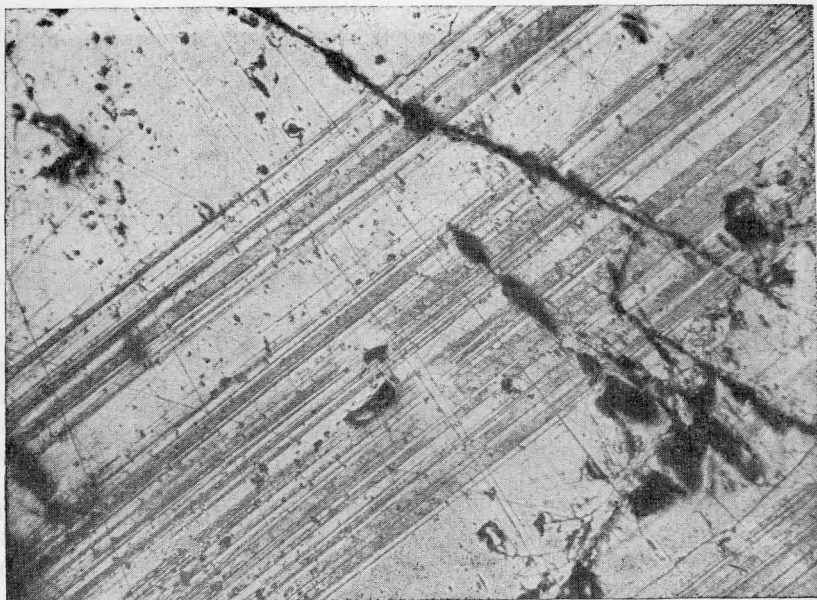


Рис. 9. Полисинтетические двойники сфалерита (чередование тонких белых и темных полосок). Месторождение Северо-Акатуевское. Полированный шлиф. Протравлено, $\times 70$

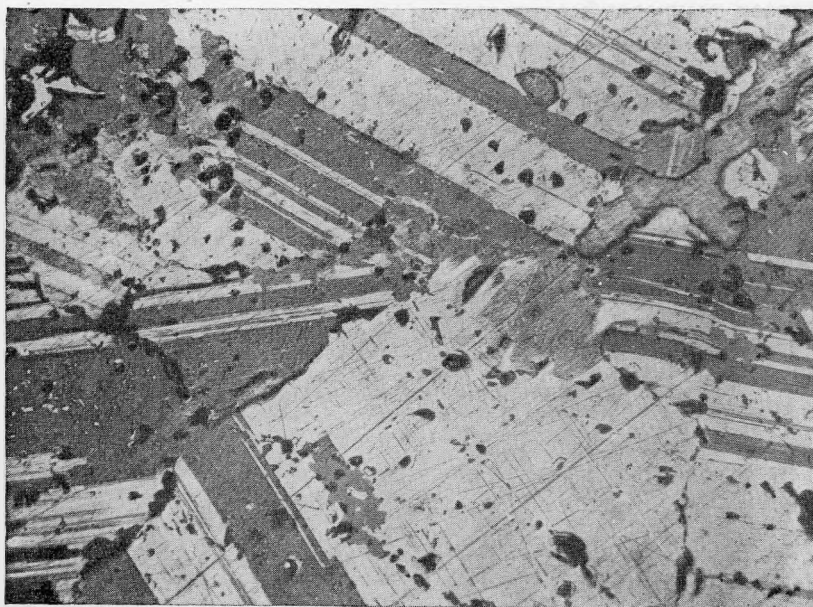


Рис. 10. Агрегат различно ориентированных и полисинтетически двойникованных зерен сфалерита. Месторождение Северо-Акатуевское. Полированный шлиф. Протравлено, $\times 70$

после отложения пирита и арсенопирита, указывают и следы течения в галените (фиг. 7) и выявленная в процессе травления отчетливая полисинтетическая двойникованность кристаллов сфалерита (фис. 8, 9, 10). Микроскопы, наблюдаемые в полисинтетических двойниках сфалерита, двойникование сфалерита, следы течения в галените, — все это лишний раз говорит о том, что процесс формирования (рудоотложения) на полиметаллических месторождениях Восточного Забайкалья был сложным и сопровождался на всем протяжении то затухающим, то усиливающимся динамометаморфизмом.

Наблюдаемые типы руд на Северо-Акатуевском и других месторождениях часто свидетельствуют о сочетании различных минеральных парагенетических ассоциаций, генетически принадлежащих ко всем трем температурным стадиям единого свинцово-цинкового процесса рудообразования («к одному металлогеническому эпизоду» по С. С. Смирнову, 1955).

Так, в главных рудных залежах I, II и III участков Северо-Акатуевского месторождения встречаются типы руд, в которых основными рудными минералами являются галенит, сфалерит, арсенопирит и пирит (т. е. парагенетическая ассоциация минералов, характерная для высоко- и среднетемпературных стадий рудообразования); там же местными геологами специально выделяется и буланжеритовая зона (III участок), в которой галенит и сфалерит находятся в подчиненных количествах (низкотемпературная стадия). Кроме того, с темными известково-углистыми сланцами связано проявление существенного пирротинового оруденения; пирит, сфалерит, халькопирит и галенит в этих рудах встречаются в качестве второстепенных минералов (преобладание среднетемпературной стадии минералообразования). Среднетемпературная стадия рудообразования, во время которой произошло выделение из гидротермальных растворов галенита и сфалерита, является основной и широко развита на всех полиметаллических месторождениях Восточного Забайкалья и, особенно, в Приаргунье (Савинское № 5, Кадаинское, Смирновское, Благодатское, Акатуевское, Северо-Акатуевское и другие месторождения).

Некоторые исследователи, в частности, К. С. Талдыкина (1959), изучая руды Савинского № 5 полиметаллического месторождения, на котором достаточно полно проявлены почти все стадии минералообразования, выделяют 12 стадий минералообразования. Условия формирования Савинского № 5 полиметаллического месторождения (среди полиметаллических рудных узлов юго-восточной части Забайкалья) занимают промежуточное положение между ранними высокотемпературными процессами, для которых характерно проявление оловянно-вольфрамово-полиметаллического оруденения (Шерловогорское месторождение), с одной стороны, и среднетемпературными процессами, типичными для полиметаллических месторождений — с другой. В связи с этим минералогический состав этого месторождения, отличающийся значительной сложностью, характеризуется как высокотемпературными, так и среднетемпературными минералами.

Генетические типы полиметаллических месторождений

В настоящее время ряд исследователей формирование полиметаллических месторождений сводит к четырем этапам рудообразования, выраженным в последовательной смене ранних высокотемпературных силикатных образований — мышьяково-колчеданными, колчеданными и свинцово-сурьмяными и просто сурьмяными рудопроявлениями.

Отличительной особенностью самого раннего гидротермального метаморфизма в некоторых полиметаллических узлах следует считать полевошпатовый этап, имеющий широкое развитие в месторождениях

кличкинской группы, приуроченных к гранитоидным породам. В Каменском и Мыльниково-Хоркиринском месторождениях интенсивно проявлена полевошпатизация (по исследованиям В. В. Архангельской), где она выражена в образовании зон альбитовых и микроклиновых пород, представленных альбитом, микроклином, карбонатом, серицитом и хлоритом.

Наиболее широко и полно представлен в юго-восточной части Забайкалья второй — сульфидный — этап, в течение которого были образованы полиметаллические месторождения. Этот этап характеризуется длительным, часто прерывающимся и пульсирующим процессом, когда было проявлено 8 стадий минералообразования. Для ранних стадий (сульфидного) этапа типичны пирит-арсенопиритовая и пирит-пирротиновая минерализация, хорошо выраженные в Запокровском рудном узле и отчасти в Кличкинском рудном поле (Почекуевское месторождение).

В этих месторождениях указанные стадии представлены массивными арсенопиритово-пиритовыми рудами. Пирит-пирротиновая стадия (этап II) имеет более значительное распространение в полиметаллических месторождениях Приаргунья и характеризуется следующим минералогическим составом: пирит, пирротин, кварц, широко проявленных в Запокровском, Гурулевском, Савинском № 5, Центральном, Ивановском, Михайловском и других полиметаллических месторождениях Забайкалья. Третий этап характеризуется более длительной историей формирования. Примерами могут служить многие полиметаллические месторождения (Нерчинско-Заводского, Кадаинского и Акатуевского рудных узлов). В этот этап в условиях частого приоткрывания рудовмещающих полостей (трещин) проявились четыре стадии: сфалеритовая, галенитовая, сфалерито-галенитовая и кварцево-арсенопиритовая. Последние, более поздние стадии сульфидного этапа характеризуются сульфо-антимонитовой и антимонитовой минерализацией. Для этих стадий минерализации характерно образование сложного комплекса сульфосолей свинца, меди и серебра, широко распространенных в полиметаллических месторождениях Нерчинско-Заводского, Алгачинского и Александрово-Заводского рудных узлов.

Четвертый, пострудный силикатно-карбонатный этап отражает собой заключительное звено верхнекиммерийской гидротермальной деятельности. Этот этап широко распространен в рудных полиметаллических узлах юго-западной части Приаргунья и в месторождениях, непосредственно залегающих в андезитовых порфиритах (Ново-Широкинское, Широкинское и др.). В пострудном этапе выделяются две стадии минерализации: кварцево-карбонатно-флюоритовая, с которой связано образование жил и прожилков кварца и карбоната, и вторая стадия, в которую образовались цеолиты в ассоциации с каолинитом. Эти минеральные ассоциации имеют органическое распространение в полиметаллических месторождениях юго-восточной части Забайкалья.

Из краткой характеристики отличительных особенностей процесса рудообразования можно сделать вывод, что в формировании полиметаллических месторождений юго-восточной части Забайкалья усматривается четкая направленность, выражающаяся в смене более ранних высокотемпературных образований мышьяково-колчеданными, колчеданными и свинцово-цинковыми рудами. В свинцово-цинковых рудах широко представлены низкотемпературные свинцово-сурьмяные и сурьмяные образования.

На основе исследований, проведенных за длительный срок изучения полиметаллических месторождений и месторождений комплексного состава юго-восточной части Забайкалья, в настоящее время мы выделяем семь генетических типов месторождений: оловянно-вольфрамо-полиметаллический (Шерловогорское месторождение), молибденово-полиметаллический (Бугдаинское месторождение), силикатно-колчеданно-полиметаллический

(Савинское № 5 месторождение), мышьяково-колчеданно-полиметаллический (Покровское, Запокровское и Гурулевское месторождения), колчеданно-полиметаллический (Ивановское, Благодатское, Трехсвятительское месторождение), собственно полиметаллический (Акатуевское, Кадаинское и другие месторождения) и полиметаллический с повышенным содержанием сульфосоей свинца (большинство месторождений Нерчинско-Заводской группы, Алгачинского рудного поля и другие месторождения).

В каждом из этих генетических типов имеются различия в геологическом строении рудоносных площадей, в глубине формирования месторождений, в характере проявления тектоно-магматизма и т. д., что позволяет выделить, на основе этих различий, отдельные районы со свойственными им структурно-металлогенетическими особенностями.

Сложность и многоэтапность формирования полиметаллических месторождений и месторождений комплексного состава позволяют представить этапы постмагматической минерализации в следующем виде (табл. 1).

Этапы минерализации	Оловянно-вольфрамово-полиметаллический	Молибденово-полиметаллический	Силикатно-колчеданно-полиметаллический	Мышьяково-колчеданно-полиметаллический	Колчеданно-полиметаллический	Полиметаллический	Полиметаллический с повышенным содержанием сульфосоей свинца
Минералы							
Кварц	■	■	■	■	■	■	■
Турмалин	■						
Касситерит	■						
Вольфрамит	■						
Молибденит	■	■					
Арсенопирит							
Пирит				■	■	■	■
Пирротин							
Сфалерит			■	■	■	■	■
Галенит							
Халькопирит							
Карбонаты	■		■	■	■	■	■
Флюорит			■	■	■	■	■
Буланжерит							■
Джемсонит							■
Элементы:							
Серебро							■
Золото							■

главные минералы примеси
 второстепенные минералы примеси, встречающиеся более редко

Окисленные руды

Свинцово-цинковые руды всех известных к настоящему времени полиметаллических месторождений Восточного Забайкалья в приповерхностных своих частях окислены и выщелочены. Первичные сульфидные минералы в этой зоне разрушаются, давая начало новым окисленным, сульфатным, карбонатным и другим соединениям. Происходит концентрация одних и вынос других химических компонентов. Отмеченные процессы, происходящие в зоне гипергенеза, усиливались в местах, обнаженных эрозией, и в тектонически нарушенных участках. Изучение различных парагенетических ассоциаций минералов, развитых в коре выветривания полиметаллических месторождений, позволяет правильно подойти к решению вопроса о составе первичных сульфидных руд и тем самым целесообразно проводить поиски рудных залежей, скрытых на глубине.

В этом отношении заслуживают внимания интересные работы Кочина Г. Г. (1955), Дубининой В. Н. и Корнилович И. А. (1956) по изучению минералогии зон окисления полиметаллических месторождений, с учетом которых составлены приводимые схемы последовательного изменения минералов первичных сульфидных руд в гипергенных условиях.

Зона окисления от месторождения к месторождению имеет не одинаковую глубину распространения, которая зависит от ряда факторов: степени трещиноватости и пористости как рудных залежей, так и вмещающих пород, минералогического состава окисляющих сульфидных руд, уровня грунтовых вод и т. д. Еще С. С. Смирновым было отмечено, что наиболее мощные зоны окисления развиваются в полиметаллических рудах, содержащих значительные количества пирита и карбонатов, т. е. минералов, наиболее легко подвергающихся в приповерхностных условиях разложению и окислению.

Все эти причины в отдельности или же вместе взятые и обуславливают изменчивость глубины зоны окисления, развитой на том или ином полиметаллическом месторождении. Ниже приводится табл. 2, в которой ориен-

Таблица 2

Глубина зоны окисления на свинцово-цинковых месторождениях Восточного Забайкалья

Месторождение	Мощность зоны окисления, м
Екатерино-Благодатское (северное) Запокровское Гурулевское Смирновское	От 10 до 50
Тайнинское Трехсвятительское Екатерино-Благодатское (южное) Михайловское	От 50 до 100
Воздвиженское Акатуевское Благодатское Кадаинское	Свыше 100

гировочно указываются мощности зон окисления, развитых на некоторых свинцово-цинковых месторождениях Восточного Забайкалья.

Следует иметь в виду, что на одном и том же месторождении диапазон глубин зон окисления в рудных телах может изменяться в широких пределах.

Схемы изменения главных рудообразующих минералов полиметаллических руд в зоне окисления

Все главные рудообразующие минералы в зоне окисления претерпевают существенные изменения.

Галенит, сфалерит, пирит, арсенопирит, буланжерит, пирротин и другие минералы в этой зоне под действием поверхностных растворов, обогащенных кислородом, солями соляной, угольной кислот и другими компонентами и соединениями, образуют обильные окислы, гидроокислы,

Схема изменений галенита

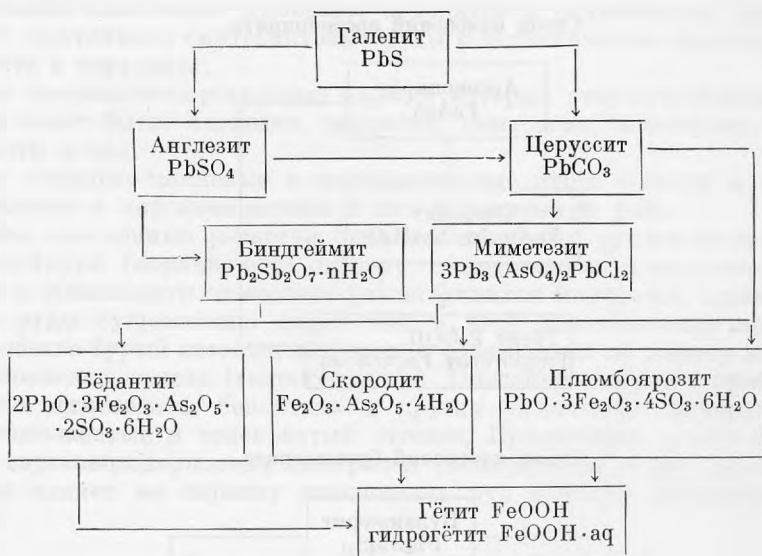


Схема изменений сфалерита

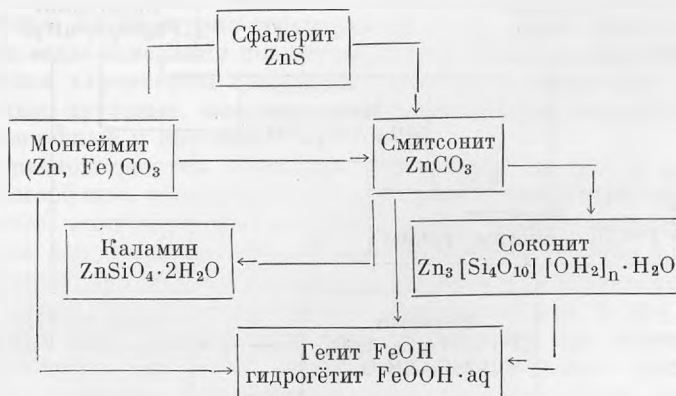
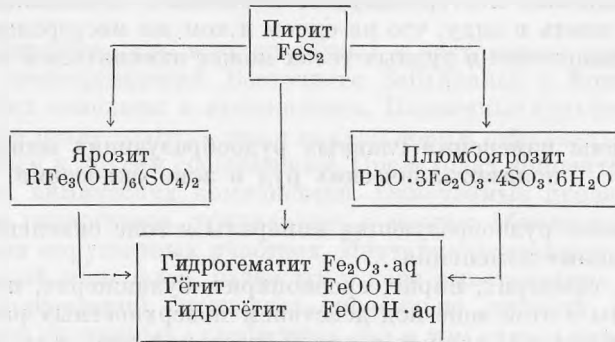


Схема изменений пирита

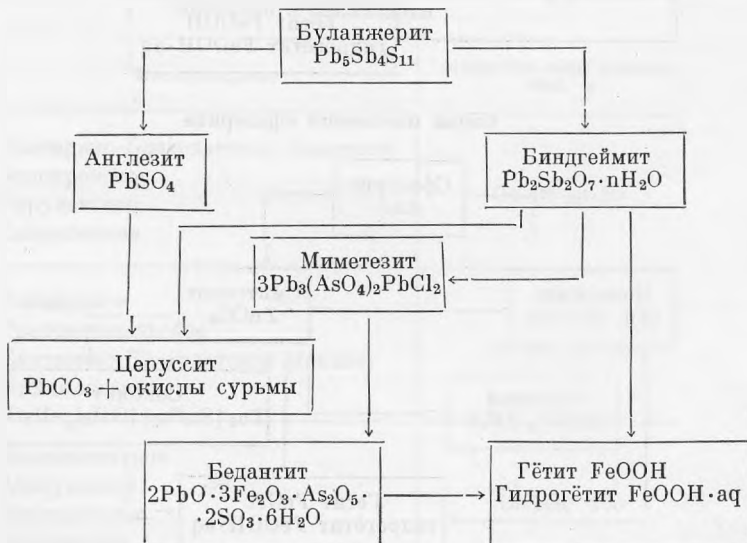


Примечание: вместо R в формуле ярозита может быть Na, K, Ag и др.

Схема изменений арсенопирита



Схема изменений буланжерита



сульфаты, карбонаты и реже другие соединения. Выше приводятся нами схемы изменений и примерной последовательности образования в зоне окисления главных рудообразующих минералов полиметаллических руд. При рассмотрении схем гипергенного изменения сульфидов свинца, цинка, мышьяка и железа следует иметь в виду, что появление, например, в схеме изменения галенита эпигенетических минералов, содержащих As, Sb и Fe, а в схеме изменения пирита — Pb и других элементов объясняется сложным полиминеральным составом сульфидных руд. Последние, подвергаясь разрушению в зоне окисления, насыщают грунтовые воды многочисленными взаимодействующими между собой подвижными компонентами в виде катионов и анионов (As, Sb, Fe, SO₄, HCO₃, Cl и др.), сложных комплексных соединений и т. д., которые при определенных физико-химических условиях среды дают начало различным свинцово-сурьмяным (биндгеймит), свинцово-мышьяковистым (миметезит) и другим соединениям (см. схемы).

Среди окисленных разностей свинцово-цинковых руд могут быть выделены:

а) англезит-церусситовые руды, в которых смитсонит и другие Zn-содержащие экзогенные минералы находятся в подчиненных количествах;

б) монгеймито-смтсонитовые руды с подчиненными количествами англезита и церуссита;

в) железисто-марганцевые охры, в которых второстепенными минералами могут быть: англезит, церуссит, смтсонит, монгеймит, скородит, ярозиты и др.;

г) свинцово-цинковые и мышьяковистые охры. Окислы и гидроокислы железа и марганца играют в них подчиненную роль.

Все окисленные разности свинцово-цинковых руд имеют характерную желто-бурую (коричневую) окраску, интенсивность и цвет которой меняются в зависимости от состава разлагающихся минералов первичных руд. Так, руды существенно пиритовые в коре выветривания приобретают красновато-бурый оттенок, вследствие образования по пириту маловодных гидроокислов железа (гидрогематита). Окисленные руды с примесью скородита, миметезита, бедантита и других экзогенных минералов имеют лимонно-желтый и зеленоватый оттенок. Присутствие в коре выветривания марганецсодержащих минералов (псиломелана и др.) также существенно влияет на окраску окисленных руд (черные и буровато-черные тона).

Тектурно-структурные особенности

Процессы окисления и выщелачивания, особенно интенсивные в поверхностных участках свинцово-цинковых месторождений, налагают свой отпечаток на тектурно-структурный облик окисленных руд.

Для руд зоны окисления полиметаллических месторождений Восточно-Забайкалья характерны следующие текстуры: землистые, порошковатые, ящичные, друзовые, жеодовые, кавернозные, брекчиевидные, брекчиевые, колломорфные и другие.

Среди разновидностей структур отмечались: мелко- и среднезернистые, колломорфные, концентрически-зональные, скелетные, краевых каемок, сетчатые, концентрически-скорлуповатые, радиально-лучистые и др.

Приведем ряд примеров образования различных текстур и структур в месторождениях окисленных свинцово-цинковых руд Приаргунья (Акатуевском, Мальцевском, Екатерининском, Воздвиженском и др.). Ящичные, кавернозные и пористые текстуры часто образуются при замещении галенита церусситом, при этом сохраняется реликтовая прямоугольная спайность в галените. Аналогичные текстуры образуются также и при

замещении галенита пльомбоярозитом, сфалерита монгеймитом и т. д. Массивные текстуры, как правило, возникают при замещении доломитизированных известняков смитсонитом и монгеймитом.

Друзовые текстуры образуются при выполнении пустот сростками хорошо ограниченных смитсонитовых, каламиновых и других кристаллов.

Образование колломорфных, концентрически-зональных, концентрически-скорлуповатых и подобных им структур происходит при перекристаллизации рудного материала с последующим переотложением его. Указанные структуры могут образовываться при растворении и переотложении англезита, смитсонита, монгеймита, скородита, при замещении гидроокислами железа вторичных свинцовых и цинковых минералов в коре выветривания.

Радиально-лучистые структуры в окисленных рудах характерны для выделений арагонита и каламина.

Часто в одном и том же окисленном рудном теле встречаются многочисленные типы и разновидности текстур и структур, которые часто налагаются друг на друга, указывая на сложные физико-химические процессы формирования, происходившие в коре выветривания свинцово-цинковых месторождений.

Изменение боковых пород при рудообразовании

Околорудные изменения боковых пород в процессе формирования сульфидных месторождений из гидротермальных растворов могут служить одним из поисковых признаков. Карбонатные породы, в которых локализуется большинство полиметаллических месторождений Забайкалья (известняки, доломитизированные известняки и доломиты), в зоне контакта с рудными телами бывают часто силицифицированы. В шлифах, отобранных из этих зон по месторождениям Акатуевского рудного поля, наблюдалось окварцевание известняков, выразившееся в развитии среди них отдельных прожилков, гнезд и небольших линз кварца. Силицификации частично могут подвергаться и доломитизированные разности известняков. Привнос гидротермальными растворами Mg, Fe и, при достаточно высоком парциальном давлении, углекислоты в растворах приводили к доломитизации чистых разностей известняков и частичной (менее выраженной) их анкеритизации. Наряду с окварцеванием известняков и доломитов происходила и их пиритизация, наличие которой во вмещающих породах С. С. Смирнов (1955) связывает с первыми порциями рудоносных растворов. Меньшим развитием в гидротермально измененных карбонатных породах пользуются слюды, амфиболы, пироксены, турмалины и другие минералы.

В комплексных месторождениях штокеркового типа (Бугдаинское, Шерловогорское и др.), где вмещающими породами являются преимущественно биотитовые граниты и кварцевые порфиры, наиболее ярко проявляются процессы окварцевания и серицитизации при незначительном развитии карбонатизации, пиритизации и хлоритизации.

Важным поисковым признаком служит и осветление гидротермально измененных гранитоидных пород, распознавание которых может помочь в выборе перспективных участков под разведку. Так, на комплексном молибденовом Бугдаинском месторождении биотитовые граниты при формировании рудных залежей в зоне действия гидротерм были значительно осветлены и разрыхлены. Выветрелые граниты приобретают характерный серовато-желтый, иногда чуть зеленоватый оттенок. Наиболее типичными вторичными минералами здесь являются серицит, железистый хлорит и в меньшей мере каолинит и гидроокислы железа (гидрогётит). Два по-

следних минерала могли развиваться уже и в экзогенных условиях в результате деятельности нисходящих поверхностных вод, циркулировавших по тектонически ослабленным и выщелоченным зонам в гранитах.

О ПАРАГЕНЕТИЧЕСКОЙ СВЯЗИ ОРУДЕНЕНИЯ С ИНТРУЗИВНЫМИ ПОРОДАМИ ВОСТОЧНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ

Согласно существующим в настоящее время представлениям (Смирнов, 1933; Кочин, 1955 и др.) возраст свинцово-цинкового оруденения для большинства полиметаллических месторождений Восточного Забайкалья определяется как послевержнеюрский. Устанавливается определенная парагенетическая связь между верхнекеммерийскими интрузиями (кварцевыми порфиритами, лампрофирами) и галенито-сфалеритовыми рудами. Так, на полиметаллических месторождениях Акатуевского рудного поля наблюдается локализация рудных тел близ даек лампрофиров и порфириров, залегающих в одних и тех же трещинах и имеющих одну и ту же ориентировку. Однако сами дайки не являлись поставщиком рудоносных растворов. Формирование свинцово-цинковых залежей и самих дайкообразных интрузивных тел происходило из гидротермальных растворов, отщепление которых происходило от каких-то магматических очагов, расположенных на глубине. Повышенные содержания в рудах таких компонентов, как СаО, MgO и СО₂, объясняются значительным насыщением ими поднимающихся снизу рудоносных растворов при их прохождении по трещиноватым зонам карбонатных пород (известняков и доломитов). Интересные исследования по установлению парагенетических связей различного рода оруденений с определенным типом интрузивных пород, развитых на территории Восточного Забайкалья, провел сотрудник ВСЕГЕИ А. В. Рабинович (1957). В пределах полиметаллической, молибденовой и олово-вольфрамовой металлогенических зон рудных районов он отбирал образцы гранитоидных пород и изучал их акцессорные минералы. Было установлено:

- 1) для олово-вольфрамовых гранитоидов характерны апатит-монацитовый или же флюорит-монацитовый тип;
- 2) для молибденоносных магматических комплексов характерны: в более древних образованиях комплекса и в более молодых разностях (гранодиоритах, гранит-порфирах) устанавливается титанитовый тип. В кварцевых порфирах Бугдаинского и в порфиритах Шахтаминского месторождений — цирконовый тип;
- 3) в интрузивных комплексах гранитоидных пород, связанных с полиметаллическим оруденением, четко устанавливаются два типа: а) титанитовый или циркон-монацитовый для древних гранитоидов; б) цирконовый тип для интрузий молодого возраста.

Приуроченность различных акцессорных минералов, установленная А. В. Рабиновичем, к строго определенным комплексам гранитоидных пород, распространенных в той или иной металлогенической провинции или зоне, может являться одним из важных признаков при поисках того или иного вида оруденения.

Резюмируя сказанное выше (с учетом предполагаемого возраста свинцово-цинкового, молибденового и олово-вольфрамового оруденения), можно констатировать:

- 1) цирконовый тип гранитоидных пород характеризует полиметаллическое оруденение;
- 2) титанитовый тип — молибденовое оруденение;
- 3) апатит-монацитовый и флюорит-монацитовый типы — олово-вольфрамовое оруденение.

РЕДКИЕ И РАССЕЯННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ РУДАХ

Замечательной особенностью забайкальских сульфидных руд является их комплексность, определяемая тем, что помимо содержания основных рудных элементов — свинца, цинка, вольфрама, олова и молибдена в них широким распространением пользуются редкие и рассеянные элементы: мышьяк, галлий, серебро, кадмий, индий, сурьма, теллур, золото, таллий, висмут и ряд других.

Все эти элементы встречаются в тех или иных количествах и в свинцово-цинковых рудах ряда полиметаллических месторождений Восточного Забайкалья, причем многие из них могут попутно извлекаться при переработке свинцово-цинковых концентратов на заводах цветной металлургии.

Распространению редких и рассеянных элементов в свинцово-цинковых месторождениях этой металлогенической провинции посвящены работы многих исследователей (Смирнова, 1933; Прокопенко и Лизунова, 1952; Кузнецова, 1959 и др.).

Было подмечено, что в свинцово-цинковых рудах некоторых месторождений в значительных количествах присутствует индий, и в связи с этим произведено выделение индиевой геохимической провинции.

Исследованиями установлено, что в большинстве полиметаллических месторождений Забайкалья индий концентрируется в сфалеритах и лишь в Смирновском полиметаллическом месторождении он связан с касситеритом и сульфо-станнатами свинца; таллий наиболее часто и в повышенных количествах встречается в галенитах и галенито-сульфо-антимонитовых рудах.

Установлено, что юго-восточная часть Забайкалья является важной индиево-таллиевой геохимической провинцией с весьма благоприятными перспективами промышленного использования этих элементов.

Даже при слабой изученности распределения редких и рассеянных элементов как в собственно полиметаллических, так и в комплексных по составу месторождениях Восточного Забайкалья устанавливается, что несмотря на некоторые качественные различия изученных месторождений по минералогическому составу руд и их геологическому положению, поведение основных элементов-примесей в процессе рудообразования остается постоянным.

Руды ранних стадий минерализации содержат весьма ограниченный комплекс элементов-примесей: золото и мышьяк, связанные со стадией кварцево-арсенопиритово-пиритовой минерализации.

Средним стадиям рудного процесса, с которыми связано образование свинцово-цинковых руд, соответствует ряд редких и рассеянных элементов: индий, галлий, олово, а также незначительные количества таллия, серебра и висмута.

В более позднюю стадию свинцовой минерализации выделилась большая часть таллия и серебра и значительные количества олова и сурьмы. В заключительную стадию минерализации, для которой характерно развитие сульфосолей меди, свинца и серебра, выделился комплекс малых, редких и рассеянных элементов, типичных для нерчинских полиметаллических руд (таллий, серебро, индий, кадмий и др.). Исследованиями установлено (Кузнецов, 1959 и др.), что главными носителями редких и рассеянных элементов в полиметаллических рудах являются сфалерит, галенит и сульфосоли свинца (табл. 3).

Как видно из табл. 3 и 4, в сфалеритах содержится основная часть индия, кадмия и галлия. Галенит является одним из главных носителей

Таблица 3

Распределение элементов-примесей между главными рудообразующими минералами

Минерал	Элементы-примеси	
	Главные	Второстепенные
Пирит	Bi, As	Ag, Sb
Пирротин . .	Bi, As	Ag, Sb
Сфалерит . . .	In, Cd, Ga, Sn	Ag, Sb, As
Галенит	Ag, Tl, Sn, Sb, Cd	Zn, Ga, As, Bi
Буланжерит .	Ag, Tl, Sn, Zn, Cd	As, Ga
Менегинит . .	Ag, Tl, Sn	As, Bi, Cd
Геокропит . .	Ag, Tl, Sn	In, Cd

серебра и таллия, олова, сурьмы, а также незначительных количеств кадмия, индия и висмута. В сульфосолях свинца в основном концентрируются те же элементы, что и в галенитах.

Таблица 4

Обобщенные данные полуколичественного спектрального анализа отдельных минералов из Акатуевского месторождения

Минерал	Число анализов	Содержание элементов-примесей					
		Единицы	Десятые >0,5% 0,1—0,5%	Сотые >0,05% 0,01—0,05%	Тысячные >0,005% 0,001—0,005%		Десятитысячные >0,0005% 0,0001—0,0005%
Галенит	15	Zn	Ag	As, Sb	Bi, Sn, Cd	Cu	
Сфалерит	13	Pb		Cd		Cu, Ga	Ag
Пирит .	9		As, Pb	Cu, Zn		Ag, Ga	V, Mo
Пирротин .	7			Pb, V		Cu, Zn, Co	Mo
Лимонит	41	As, Pb, Zn		Sb	Ag	Ni, Cr Sn, Cu Mo, Ba	V
							Be

Таким образом, в полиметаллических рудах намечается отчетливая связь элементов-примесей с определенными стадиями гидротермального процесса и минеральными комплексами.

Мы подвергли спектральному исследованию некоторые образцы пород, руд и отдельных минералов с Акатуевского, Бугдаинского и Шерловогорского месторождений. Приводимые таблицы результатов этих исследований выполнены спектральной лабораторией сектора минерально-сырьевых ресурсов СОПС'а (Н. П. Сечиной и Е. А. Каратаевой) — см. табл. 4 и 5. Кроме того, в единичных пробах кварцевых порфиров и гранитов с рудной вкрапленностью был обнаружен Cd (0,0п —) — обр. 99, Co (0,00 п) — обр. 39-а, Ni (0,00п +) — обр. 39-а, Bi (0,0п —) — обр. 106-а и Sc (0,00п) — обр. 39 и 39-а.

В результате изучения полиметаллических руд Восточного Забайкалья, наряду с «чисто» полиметаллическими рудами выявлены руды комплексного состава штокверкового характера оруденения. Содержащиеся в них полиметаллические руды — бедные, однако при массовой переработке рудных концентратов, по-видимому, возможно вполне рентабельное их извлечение.

Таблица 5

Обобщенные данные полуколичественного спектрального анализа руд и вмещающих их гранитоидных пород с Бугдаинского и Шерловогорского месторождений

Порода	Число анализов	Содержание элементов-примесей								
		Единицы	Десятые >0,5% 0,1—0,5%	Сотые >0,05% 0,01—0,05%	Тысячные >0,005% 0,001—0,005%	Десятитысячные >0,0005% 0,0001—0,0005%				
Кварцевый порфирит с сульфидами *	5	As	Zn	Sn, V	Sb	Cu	Pb, Ag, Ga, Cr	Mo		
Кварцевый прожилок с сульфидами	5	Mo			Ba	Sb	Pb, Cu, V			
Биотитовый гранит	5				Pb, W, Zr, V, Ba	Mo	Cu, Ga, Cr		Be, Sn	
То же с сульфидами	5	Pb, As, Cu	Sb, Ag				Mo		Cr, V	
Гидротермально измененный гранит	5				Pb, Zr, V, Ba		Cu, Mo, Ga		Sn, Cr	
То же с сульфидами	7	Pb	Zn, Mo	Zr, Ba	As, Sb	Ag, V	Ga	Sn	Be	

* Шерловогорское месторождение.

ЛИТЕРАТУРА

- Билибин Ю. А. Основные черты мезозойской эндогенной металлогении Восточного Забайкалья. Материалы по эндогенной металлогении Советского Союза. Госгеолиздат, 1953.
- Дубинина В. Н. и Корнилович И. А. Минералогия зоны окисления полиметаллических месторождений Восточного Забайкалья. Части I и II. Рукопись. Фонды ВСЕГЕИ, Ленинград, 1956.
- Заварицкий А. Н. О некоторых особенностях колчеданных месторождений Блява, Сибай, Учалы.— Изв. АН СССР, серия геол., № 1, 1943.
- Иванов С. Н. Новые данные о генезисе колчеданных месторождений Среднего Урала.— Изв. АН СССР, серия геол., № 1, 1943.
- Иванов С. Н. Изучение зон роста зерен пирита в колчеданных месторождениях Урала.— Зап. Всес. минералог. общ., ч. 79, вып. 2, 1950.
- Козеренко В. Н. Геологическое строение юго-восточной части Восточного Забайкалья. Изд. Львовского ун-та, 1956.
- Козеренко В. Н. О некоторых основных вопросах геологического строения Восточного Забайкалья.— Изв. АН СССР, серия геол., № 8, 1956.
- Кочин Г. Г. Свинцово-цинковые месторождения Акатуевского рудного поля Восточного Забайкалья (дисс.). Фонды Читинского геол. упр., 1955.
- Кузнецов К. Ф. Редкие и рассеянные элементы в рудах некоторых полиметаллических месторождений Нерчинско-Заводской группы. В кн.: «Вопросы минералогии, геохимии и генезиса месторождений редких элементов». Изд-во АН СССР, 1959.
- Озерский А. Д. Очерк геологии, минеральных богатств и горного промысла Забайкалья, 1857.
- Плигина Д. В. Окончательный отчет о разведке месторождения Акатуевского рудного поля с подсчетом запасов свинца и цинка на 1.07.1957 г. (Рукопись). Фонды Читинского геол. упр. Чита, 1957.

- Прокопенко Н. М. и Лизунов Н. В. Редкие и рассеянные элементы в свинцово-цинковых месторождениях Восточного Забайкалья. Рукописный отчет. Фонды ИГЕМ АН СССР, 1952.
- Рабьянович А. В. Характер распределения и форма нахождения свинца и молибдена в различных геологических формациях главнейших рудных районов Восточного Забайкалья. (Рукопись). Фонды ЧГУ, 1957.
- Смирнов С. С. Полиметаллические месторождения Восточного Забайкалья.— Труды Всес. геол.-разв. объедин., вып. 327. Гос. научно-техн. горно-геол. нефт. изд-во, 1933.
- Смирнов С. С. К минералогии некоторых полиметаллических руд Забайкалья. Избр. труды. Изд-во АН СССР, 1955а.
- Смирнов С. С. Зона окисления сульфидных месторождений. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1955б.
- Соколовский А. Д. Взгляд на серебряное производство Нерчинских заводов, 1836.
- Талдыкина К. С. Стадии минералообразования в полиметаллическом месторождении Савинское № 5.— Вестн. Ленингр. ун-та, № 6. Серия геол. и геогр., вып. 1. Ленинград, 1959.
- Францкая Е. В. К вопросу о внутреннем строении пиритов золоторудного месторождения в Восточном Забайкалье.— Зап. Всес. мин. об-ва, ч. 85, вып. 2, 1956.
- Шадлун Т. Н. Некоторые особенности внутреннего строения зерен пирита в колчеданных залежах.— Минералог. сб. Львовского геол. об-ва, № 4, 1950.
- Шутлив Ф. А. Перспективы расширения рудно-сырьевой базы полиметаллической промышленности в Восточном Забайкалье (Приаргунье). М., СОПС АН СССР, 1958.
- Шутлив Ф. А. Природные богатства востока — на службу Родине.— Природа, № 10. Изд-во АН СССР, 1957.
- Шутлив Ф. А. Развитие металлогенических исследований.— Природа, № 8, Изд-во АН СССР, 1959.
- Юшко С. А. Изучение явлений динамометаморфизма в сульфидных рудах.— Труды ИГН АН СССР, серия рудн. местор., № 19, 1940.
- Юшко С. А. Явления двойникования в рудных минералах как результат динамометаморфизма.— Труды ИГН АН СССР, серия рудн. местор., № 5, 1941.