

## История изучения и основные особенности свинцово-цинково-колчеданных месторождений типа MVT Приаргунской минерагенической зоны

В пределах Приаргунской минерагенической зоны выделяются два типа месторождений: в венд-кембрийских осадочных (карбонатных) породах – MVT со свинцово-цинково-колчеданным оруденением и в мезозойских вулканогенных породах – VMS с колчеданно-полиметаллическим. Месторождения типа MVT приурочены к вулканогенно-карбонатно-терригенной формации. Установлено два генетических типа рудных тел – стратиформный (стратифицированный) и штокверковый гидротермально-метасоматический зон поводящих каналов. Стратиформные рудные тела залегают согласно напластованию вмещающих пород в пологих палеодепрессиях, приурочены к контактам известняков с доломитами и углеродистыми алевролитами или контролируются межслоевыми тектоническими нарушениями. Месторождения рассматриваемого типа формировались синхронно с осадконакоплением. В то же время механизм формирования стратиформных или стратифицированных рудных тел мог быть принципиально различным.

*Ключевые слова:* MVT, Приаргунская минерагеническая зона, Кличкинский рудный район, Нерчинско-Заводской рудный район, Шахтаминский рудный район, колчеданно-полиметаллические месторождения.

КУЗНЕЦОВ ВЛАДИМИР ВЕНИАМИНОВИЧ, кандидат геолого-минералогических наук, начальник отдела, okt@tsnigri.ru

СЕРАВИНА ТАТЬЯНА ВАЛЕРЬЕВНА, кандидат геолого-минералогических наук, заведующая лабораторией, seravina@tsnigri.ru

ДОНЕЦ АЛЕКСАНДР ИВАНОВИЧ, доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, donets@tsnigri.ru

КУДРЯВЦЕВА НЕЛЛИ ГЕОРГИЕВНА, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, ngkudryavtseva@tsnigri.ru

КУЗНЕЦОВА ТАТЬЯНА ПЕТРОВНА, кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, kuznetsova@tsnigri.ru

ФИЛИПОВА СВЕТЛАНА СЕРГЕЕВНА, ведущий инженер, filippova@tsnigri.ru

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Центральный научно-исследовательский геолого-разведочный институт цветных и благородных металлов» (ФГБУ «ЦНИГРИ»), г. Москва

## History of the study and the principal features of the MVT-type lead-zinc massive sulfide deposits of the Priargunsk minerogenic zone

V. V. KUZNETSOV, T. V. SERAVINA, A. I. DONETS, N. G. KUDRYAVTSEVA, T. P. KUZNETSOVA, S. S. FILIPPOVA

Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals, Moscow

Two types of ore deposits are distinguished within the Priargunsk minerogenic zone: the lead-zinc massive sulfide ore deposits in the Vendian-Cambrian carbonate sedimentary rocks (MVT type) and the polymetallic massive sulfide ones in the Mesozoic volcanogenic rocks (VMS type). The MVT-type deposits are confined to the volcanogenic-carbonate-terrigenous formation and comprise two genetic types of the ore bodies, the stratiform (stratified) beds and the stockwork-shaped hydrothermal-metasomatic zones in the feeding channels. The stratiform ore bodies occur concordantly with stratification of the host rocks in gentle paleodepressions; they are confined to the contacts of limestones with dolomites and carbonaceous siltstones or are controlled by interlayer tectonic deformations. Ore deposits of this type formed synchronously with sedimentation. At the same time, the mechanism of formation of stratiform or stratified ore bodies could be fundamentally different.

*Key words:* MVT, Priargunsk minerogenic zone, Klichka ore district, Nerchinsky Zavod ore district, Shakhtama ore district, pyrite-polymetallic deposits.

**Историческая справка.** Полиметаллические месторождения Восточного Забайкалья издавна привлекали внимание геологов, поскольку они являлись важным источником свинца, цинка, серебра, золота, висмута, кадмия, индия, галлия, теллура и селена.

Ещё в XVIII–XIX вв. были открыты наиболее значимые полиметаллические месторождения, но добывалось из них преимущественно серебро, в меньшей степени – свинец. К началу XX в. почти все серебряно-цинковые рудники были остановлены, но исследования, проведённые А. Д. Озерским и другими специалистами, убедительно доказывали, что потенциал данных месторождений ещё не исчерпан.

Большой вклад в познание закономерностей размещения полиметаллических месторождений и необходимости их переоценки внёс академик С. С. Смирнов [15], работавший на территории Восточного Забайкалья с середины 1920-х до начала 1930-х годов. Обобщив новые и архивные материалы, он выделил Приаргунский полиметаллический пояс и определил в нём наиболее перспективные объекты, разработал основы пульсационной теории эндогенного рудообразования, главные факторы и критерии прогноза. При этом С. С. Смирнов в своих работах использовал материалы геологов-разведчиков, работавших на этих месторождениях, – В. М. Крейтер, А. П. Дрожжилова, Б. И. Воздвиженского. Главные работы С. С. Смирнова – «Полиметаллические месторождения Восточного Забайкалья» (1933) и «Металлогения Восточного Забайкалья» (1944), переизданные в 1961 г. [16] и не потерявшие своей актуальности до настоящего времени.

В послевоенное время начался период активного проведения геологоразведочных и научно-исследовательских работ на большинстве свинцово-цинковых месторождений Приаргунского полиметаллического пояса (Акатуевское, Алгачинское, Благодатское, Воздвиженское, Ивановское, Кадаинское, Кличкинское, Савинское № 5, Смирновское, Широкинское и др.). По итогам этих работ в 1963 г. был составлен сборник статей «Вопросы геологии и генезиса некоторых свинцово-цинковых месторождений Восточного Забайкалья» [3] под редакцией Ф. И. Вольфсона, в котором обобщены основные научные результаты, полученные коллективом геологов (В. Н. Козеренко [8], Д. И. Горжевский [4], Е. А. Радкевич, В. В. Архангельская [2], В. В. Аристов, К. Ф. Кузнецов, А. И. Ку-

лагашев, О. П. Полякова, Н. Н. Трофимов, Д. А. Тимофеевский, Б. П. Санин, М. А. Свирский и другие).

Основными закономерностями полиметаллических месторождений Приаргунского пояса, разработанными в 1950–1960-х гг., явились следующие [3]:

1. Приаргунский полиметаллический пояс подразделяется на две крупные металлогенические зоны – Приаргунскую и Газимурскую. Свинцово-цинковые месторождения в этих зонах сходны по вещественному составу, структуре и являются, вероятно, одновозрастными – верхнеюрскими.

2. Полиметаллические месторождения приурочены к мощным карбонатным толщам нижнего палеозоя, которые разобщены крупными массивами гранитоидов варисского, а на севере – каледонского возраста. Рудовмещающие палеозойские карбонатные породы скрыты под юрскими отложениями.

3. Месторождения локализуются преимущественно в известняках, доломитах и толщах переслаивания терригенных пород, превращённых в сланцы, и известняков. Но встречаются свинцово-цинковые руды и в алюмосиликатных породах палеозоя (месторождение Каменское), в песчаниках и сланцах нижнего палеозоя (Кличкинское месторождение) или юры (месторождение Алгачинское), а также среди верхнеюрских эффузивов (месторождения Ново-Широкинское и Александровское). Следует отметить, что изучению месторождений в алюмосиликатных породах уделялось в эти годы меньше внимания, поскольку ещё не было обнаружено крупное месторождение в эффузивах (Нойон-Тологойское).

4. Полиметаллические месторождения приурочены к контактам пород различного состава (известняков и сланцев) и к региональным тектоническим зонам северо-восточного, северо-западного, меридионального и субширотного направлений. Эти зоны, имеющие древнее заложение, определили расположение юрских и меловых депрессий, затем локализацию массивов каледонских и варисских гранитов, положение провесов кровли и зон ксенолитов в них, а также определяли расположение юрских и меловых депрессий, а затем локализацию оруденения и одновременно образующихся с ним малых интрузий.

5. Отмечается важная роль не только структурных, но и литологических факторов. Как сказано выше, полиметаллические месторождения приурочены к карбонатным и терригенно-карбонатным

породам венда–нижнего палеозоя. Если рассматривать Приаргунскую зону с юго-запада на северо-восток, то в юго-западной части Приаргунья месторождения тяготеют к отложениям венда (Кличкинское рудное поле), в центральной части – к образованиям нижнего кембрия (Кадаинское рудное поле), а в северо-восточной – к породам среднего и верхнего кембрия (Нерчинско-Заводское рудное поле). При этом месторождения, залегающие в нижних частях разреза (карбонатные), обогащены свинцом ( $Pb:Zn > 1$ ), а в более высоких частях (карбонатно-терригенные) обогащены цинком ( $Pb:Zn < 1$ ) [6].

6. В морфологическом отношении рудные тела полиметаллических месторождений разнообразны. Среди массивных карбонатных пород встречаются трубообразные залежи, приуроченные к пересечению или сочленению различно направленных трещин, а в толщах чередования пород разного состава встречаются пластообразные и жилообразные. На некоторых месторождениях вдоль чётко проявленных трещин нарушения встречаются типичные жилообразные тела (Кадаинская жила), которые сопряжены со штокообразными залежами (Осиновский шток, Кадаинское рудное поле). Среди эффузивных образований проявлены зоны вкрапленных руд, приуроченные к зонам тектонических нарушений (месторождение Ново-Широкинское). В песчаниках и сланцах встречаются жильные тела и зоны вкрапленных руд, приуроченные к мелкой трещиноватости, представляя межпластовые образования (месторождение Алгачинское). Чаше всего на месторождениях имеет место сочетание различных морфологических типов рудных тел, которое проявляется в зависимости от типов вмещающих пород и деталей тектонической структуры.

7. Генетические типы полиметаллических месторождений в пределах Приаргунского пояса довольно разнообразны, причём характер минерализации в разных горных породах различный. Так, в месторождениях, приуроченных к карбонатным породам (Акатуевское, Кадаинское и др.), в рудах из главных минералов преобладают галенит, сфалерит, пирит, а из второстепенных – халькопирит, арсенопирит, буланжерит, а также минералы серебра и золота. Жильные минералы представлены кварцем, кальцитом, анкеритом, доломитом. Околорудные изменения выражены окварцеванием, доломитизацией, анкеритизацией.

8. На месторождениях, приуроченных к переслаиванию углистых и известковистых сланцев с известняками, главными рудными минералами являются пирит, арсенопирит, сфалерит, галенит, пирротин, марказит, буланжерит, а околорудные изменения – серицитизация, окварцевание, карбонатизация, редко хлоритизация.

9. На месторождениях, расположенных вблизи контактов с гранитоидами, развиты скарны, скарнированные породы и роговики. Месторождения, приуроченные к эффузивным образованиям, отличаются простыми по составу рудами галенит-сфалеритового состава и более сложными золото-полиметаллическими с висмутом (Ново-Широкинское). Изменения вмещающих пород здесь сводятся к пропицитизации, хлоритизации, каолинизации.

Сравнительная характеристика парагенетических ассоциаций, повторяющихся в различных полиметаллических месторождениях Приаргунья, привела многих исследователей [3] к выводу, что они все гидротермально-метасоматические и образованы одновременно в послелеверхнеюрское время. Месторождения сформированы на небольшой глубине (от нескольких сотен метров до 1,5–2,0 км) и связаны с глубоко расположенными источниками рудоносных растворов. Прямая генетическая связь свинцово-цинковой минерализации с магматическими телами не устанавливается, скорее всего, эта связь парагенетическая.

В 1975 г. Д. Н. Алексеев [1] предложил альтернативную точку зрения на генезис свинцово-цинковых месторождений Приаргунья. По его мнению, эти месторождения являются полигенными, полихронными. Первичные стратиформные свинцово-цинковые руды обнаруживают тесную связь с породами пестроцветно-углисто-доломитовых формаций. В этом заключается главная причина их чёткого стратиграфического контроля. Неоднократное повторение оруденения в вертикальном разрезе осадочных толщ определяется многоярусным размещением в нём пород названных формаций. В пользу седиментационного происхождения свинцово-цинкового оруденения свидетельствуют также многие текстурные особенности руд, среди которых большим развитием пользуются слоистые, ритмично-слоистые, косослоистые образования, представляющие тонко-ритмично чередующиеся слои пирита, сфалерита, галенита, доломита. Образование рудоносных формаций и стратиформного оруденения происходило

в длительном возрастном интервале (байкальская, каледонская и герцинская эпохи). Накопление рудных концентраций в породах осадочных формаций определялось фаціальным профилем палеобассейнов и интенсивностью накопления углеродистого вещества в областях седиментации.

В дальнейшем стратиформные полиметаллические руды были подвержены преобразованиям, среди которых значительная роль принадлежит процессам метаморфизма, магматизма и регенерации.

В 1980-е годы значительную роль в изучение полиметаллических месторождений Приаргунья внесли Е. И. Филатов [17, 18], Б. П. Санин и Л. Д. Зорина [12], М. Г. Добровольская [7] и многие другие. Эти авторы рассматривали данные месторождения с позиции гидротермально-метасоматического генезиса свинцово-цинкового оруденения.

Д. И. Горжевским с соавторами [6] в 1992 г. было высказано суждение, касающееся генезиса полиметаллических месторождений, близкое к точке зрения Д. Н. Алексева.

В Восточном Забайкалье терригенно-карбонатные породы, вмещающие полиметаллические месторождения, являются, вероятно, первоисточником свинца, цинка и других металлов и имеют рифей-кембрийский возраст, в то время как формирование большей части этих месторождений происходило в юрскую эпоху. В качестве объяснения этого факта можно предположить, что в юрское время в Юго-Западной части Приаргунской зоны металлы извлекались из рифейских отложений (Кличкинское рудное поле), а в северо-восточной – из аналогичных им по составу нижнекембрийских (Кадаинское рудное поле) и из верхнекембрийских (Нерчинско-Заводское рудное поле), поэтому месторождения оказались расположенными на разных стратиграфических уровнях.

Следующий этап изучения полиметаллических месторождений Восточного Забайкалья был начат в XXI в. Сотрудниками ЦНИГРИ [9] совместно с геологами из Читы [14] были проведены исследования не только в пределах месторождений, но и на площади всей Приаргунской структурно-формационной зоны. К этому времени был открыт новый для Приаргунья тип колчеданно-полиметаллического месторождения в вулканогенных ассоциациях (Нойон-Тологойское) и начата его обработка.

В результате этих работ авторами были выделены два типа месторождений: в венд-кембрийских осадочных (карбонатных) породах – MVT со свинцово-цинково-колчеданным оруденением и в мезозойских вулканогенных породах – VMS с колчеданно-полиметаллическим [9, 10, 13].

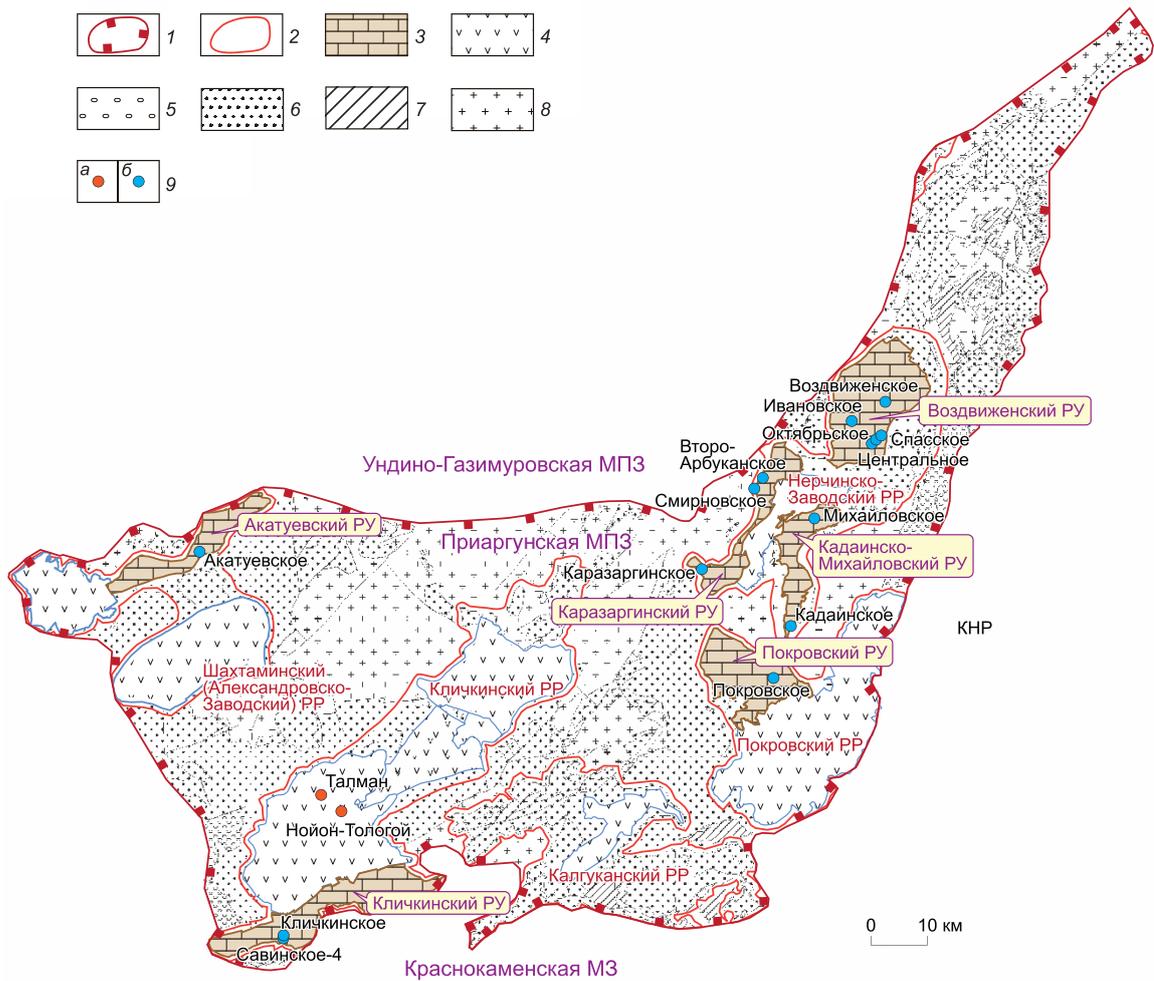
**Фактический материал.** Свинцово-цинково-колчеданные месторождения в терригенно-карбонатных породах типа MVT приурочены к вулканогенно-карбонатно-терригенной формации венд-нижнего (среднего?) кембрия (рис. 1), которая подразделяется на две субформации: нижнюю – углеродисто-карбонатно-терригенную (V), и верхнюю – терригенно-карбонатную ( $C_{1-2}$ ) [20].

Углеродисто-карбонатно-терригенная субформация сложена углеродисто-глинистыми, кварцево-сланцевыми алевролитами, метаморфизованными песчаниками и алевролитами или ритмичной пачкой, состоящей из чередования терригенных и карбонатных отложений.

Терригенно-карбонатная субформация, являющаяся наиболее продуктивной для оруденения, сосредоточила в себе более 90% запасов свинца и цинка. Она представлена переслаивающимися пачками водорослевых и кремнистых доломитов и хемогенных известняков с прослоями глинистых сланцев и алевролитов, линзами осадочных карбонатных брекчий, реже конгломератов. В средней части разреза отмечается флишоидная толща, сложенная глинистыми сланцами, алевролитами и песчаниками с прослоями известняков, доломитов кремнистых пород и туфопесчаников. В Нерчинско-Заводском рудном районе в составе субформации преобладают доломиты, доломитовые известняки и известняки с прослоями глинистых и мергелистых и углеродистых алевролитов.

Вулканогенно-карбонатно-терригенная формация является рудовмещающей для колчеданно-свинцово-цинкового оруденения Приаргунского рудно-формационного типа, в пределах которой выделяются минеральные типы месторождений – существенно цинковый, существенно свинцовый и свинцово-цинковый, образующие вертикально-латеральные ряды, связанные с фаціальными особенностями рудовмещающего разреза [9, 10, 13] (см. таблицу).

Углеродисто-карбонатно-терригенная субформация включает в себя существенно цинковый тип с соотношением  $Pb:Zn = 1,0:(2,2-4,0)$ . Наиболее представительными являются месторождения Савинское № 5 и Ивановское. В рудоносной части



**Рис. 1. Формационная карта Приаргунской минерагенической зоны:**

1–2 – границы: 1 – минерагенической зоны, 2 – рудных районов; 3–4 – поля: 3 – развития рудоносной вулканогенно-карбонатно-терригенной формации венд-кембрийского возраста (определяют границы рудных узлов Приаргунского типа), 4 – развития рудоносной вулканогенно-кремнисто-терригенной формации средне-верхнеюрского возраста (определяют границы рудных узлов Нойон-Тологойского типа); 5–7 – формация: 5 – надрудная угленосная молассовая, 6 – подрудная терригенная молассовая, 7 – подрудная сланцево-карбонатная; 8 – интрузивные массивы нерасчленённые; 9 – месторождения и рудопоявления: а – колчеданно-полиметаллические в осадочно-вулканогенных породах (Нойон-Тологойский тип), б – свинцово-цинково-колчеданные в терригенно-карбонатных породах (Приаргунский тип)

разреза Савинского № 5 принимает участие углеродистая известково-алевролитовая толща, к флангам наблюдается сокращение углеродистой составляющей. Оруденение Ивановского месторождения приурочено к карбонатно-сланцевому составу разреза толщи, прорванному штоками и дайками ундинского позднепалеозойского (поздняя пермь), шахтаминского, нерчинско-заводского и кукульбейского рудоносных магматических ком-

плексов кислого, субщелочного и основного состава. В различных рудных районах присутствуют более мелкие месторождения и рудопоявления свинцово-цинкового типа (Кличкинское и др.).

В углеродисто-терригенно-карбонатной субформации выделяются два преобладающих минеральных типа: существенно свинцовый и свинцово-цинковый.

### Характеристика месторождений различных минеральных типов Приаргунского рудно-формационного типа

Месторождение	Рудовмещающие породы	Минеральный состав руд	Соотношение свинца и цинка
<b>Цинковый минеральный тип (с преобладанием цинка над свинцом)</b>			
Савинское № 5	Углеродсодержащие известняки и углеродсодержащие алевролиты	<i>Главные рудные минералы:</i> пирит, пирротин, сфалерит, галенит, арсенопирит: Pb – 0,1–20 % (среднее содержание 4,58 %), Zn – 3–40 % (среднее содержание 2,45 %); <i>попутные компоненты:</i> Au – 0,29 г/т, Ag – 15,83–45,9 г/т, Cd – 0,01 %, In – 10 г/т, Ga – 75 г/т, Bi – 0,011 %, Cu – 0,06 %, Fe – 12,79 %	Pb:Zn = 1,0:4,0
Ивановское	Алевролиты, мергелистые алевролиты, известняки, доломиты	<i>Главные рудные минералы:</i> сфалерит, галенит, пирит, пирротин: Pb – 1,95 %, Zn – 4,18 %; <i>попутные компоненты:</i> Au – 0,2–17,5 г/т, Ag – 213,6 г/т	Pb:Zn = 1,0:2,2
<b>Свинцовый минеральный тип (с преобладанием свинца над цинком)</b>			
Акагуевское	Известняки и углеродсодержащие алевролиты	<i>Главные рудные минералы:</i> галенит, сфалерит, пирит, арсенопирит: Pb – 3,4–6,7 %, Zn – 1,8–3,4 %; <i>попутные компоненты:</i> Au – 2–2,5 г/т, Ag – 243 г/т	Pb:Zn = (2,0–1,5):1,0
Кадаинское	Известняки, доломиты, углеродсодержащие алевролиты	<i>Главные рудные минералы:</i> сфалерит, галенит, пирит: Zn – 1,4–5,38 %, Pb – 3,88–12,28 %; <i>попутные компоненты:</i> Au – 0,69 г/т, Ag – 60,61 г/т, Cd – 0,01 %, Bi – 0,01 %	Pb:Zn = 2,2:1,0
Ируновское	Доломиты, алевролиты, конгломераты	<i>Главные рудные минералы:</i> галенит, сфалерит: Pb – 1–12 % (среднее содержание 6,71 %), Zn – 0,3–0,6 %; <i>попутные компоненты:</i> Au – 1,03 г/т, Ag – 182,8 г/т	Pb:Zn = 13,0:1,0
Центральное	Доломитовые известняки, алевролиты	<i>Главные рудные минералы:</i> пирит, буланжерит, галенит, сфалерит, арсенопирит: Pb – 4,9 %, Zn – 2,4 %; <i>попутные компоненты:</i> Au – 2,4 г/т, Ag – 64 г/т, In – 34 г/т, Ga – 10 г/т, As – 3,91 %, Ge – 18 г/т	Pb:Zn = 2,1:1,0
<b>Свинцово-цинковый минеральный тип (с примерно равным содержанием свинца и цинка)</b>			
Михайловское	Известняки, кремнистые алевролиты, углеродсодержащие алевролиты	<i>Главные рудные минералы:</i> пирит, марказит, сфалерит, галенит: Pb – 1,97–5,69 %, Zn – 3,11–5,02 %; <i>попутные компоненты:</i> Au – 0,13 г/т, Ag – 92,45–165,2 г/т, Cd – 0,02 %, In – 30 г/т, Ta – 19 г/т	Pb:Zn = 1,0:1,1
Воздвиженское	Доломиты, доломитистые известняки, углеродсодержащие известняки	<i>Главные рудные минералы:</i> пирит, сфалерит, галенит, буланжерит, геокронит: Pb – 1,5–6,41 %, Zn – 1,1–8,54 %; <i>попутные компоненты:</i> Au – 0,6–0,8 г/т, Ag – 99,64–106,6 г/т	Pb:Zn = 1,0:1,2
Благодатское	Доломитистые известняки, мергелистые известняки	<i>Главные рудные минералы:</i> галенит, сфалерит, пирит, арсенопирит: Pb – 1,33–3,25 %, Zn – 2,33–4 %; <i>попутные компоненты:</i> Au – 0,13 г/т, Ag – 113 г/т	Pb:Zn = 1,0:1,4
Екатерино-Благодатское	Доломитистые известняки, мергелистые известняки	<i>Главные рудные минералы:</i> галенит, сфалерит, пирит, арсенопирит: Pb – 6,45 %, Zn – 6,72 %; <i>попутные компоненты:</i> Au – 0,46 г/т, Ag – 146 г/т, Cd – 0,044 %	Pb:Zn = 1,0:1,1
Покровское	Известняки, доломитистые известняки, конгломераты, песчаники	<i>Главные рудные минералы:</i> сфалерит, пирит, галенит, арсенопирит: Pb – 3,36–3,6 %, Zn – 3,98–4,06 %; <i>попутные компоненты:</i> Au – 0,64 г/т, Ag – 103,5 г/т, Cd – 0,02 %, Ga – 16 г/т, In – 7 г/т, As – 1,35 %	Pb:Zn = 1,0:1,2

В разных рудных районах [9] существенно свинцовый тип (Кадаинское, Акатуевское и др.) с соотношением  $Pb:Zn = (2,0-13,0):1,0$  локализуется в породах нижнего кембрия и преобладает над месторождениями и мелкими рудопроявлениями свинцово-цинкового типа (Покровское и др.). Месторождения данного типа характеризуются высокими содержаниями золота и серебра. Наиболее богатыми объектами являются Акатуевское ( $Au\ 2-2,5$  и  $Ag\ 243$  г/т) и Ируновское ( $Au\ 1,03$  и  $Ag\ 182,8$  г/т) [10].

Выше по разрезу субформации выделяется свинцово-цинковый тип с примерно равным содержанием свинца и цинка (Михайловское, Воздвиженское и др.). В отличие от вышеупомянутых минеральных типов, свинцово-цинковый имеет повсеместное распространение в вертикально-латеральном ряду. Характерным является высокое содержание серебра (в среднем 120 г/т).

В целом месторождения Приаргунского типа обладают высокими содержаниями серебра, а содержания золота распределены неравномерно. Вероятно, повышенная золотоносность ряда месторождений (Ивановское, Акатуевское, Центральное, Ируновское) связана с близостью зон подводящих каналов и поздним привносом золота в ассоциации с шерловым турмалином.

*Кличкинский рудный район.* Месторождение Савинское № 5 является основным рудным объектом типа МVT Кличкинского рудного района и локализовано в углеродисто-карбонатно-терригенной субформации вендского возраста. Полиметаллическое оруденение месторождения приурочено к восточному крылу узкой антиклинальной складки и находится в зоне основной рудоконтролирующей структуры – Цаган-Золотуевского разлома, что обусловило широкое развитие на его площади разрывных нарушений. Тектонические нарушения следуют вдоль контактов кварцевых диоритов и известковистых сланцев, диоритов и скарнов и др. Рудовмещающими являются породы почкуевской подсвиты верхнего протерозоя, представленные переслаиванием углеродистых известняков и алевролитов, причём последние преобладают. Алевролиты характеризуются содержанием  $C_{орг.}$  0,8–5,8% и известковистостью до 12%. Содержание  $C_{орг.}$  в известняках достигает 4,5%, в среднем составляя 1,2–1,7%. Все вмещающие породы месторождения в той или иной мере несут сульфидную минерализацию. Наиболее благоприятными для оруденения на верх-

них горизонтах месторождения являются известково-глинистые сланцы, на нижних – известково-глинистые сланцы и известняки. Оруденение, сопряжённое со скарнами, наблюдается лишь на глубоких горизонтах месторождения (рис. 2).

Рудные тела на месторождении имеют сложно-линзообразную, линзообразную, трубообразную и гнездовую формы и являются секущими по отношению к скарнам. Преобладают линзообразные и сложно-линзообразные рудные тела, они ориентированы, согласно общей структуре, с падением на северо-восток под углом 45–50°. Вместе они образуют рудную зону, склоняющуюся на север под углом 25–30°.

Полиметаллические руды месторождения Савинское № 5 характеризуются большим разнообразием минерального состава, обусловленным сочетанием сульфидного оруденения и скарнов. Вопросы вещественного состава, геохимии руд, зональности и стадийности процесса рудообразования на месторождении неоднократно освещались многими исследователями (Г. И. Кириллов и др., 1971; Л. Д. Зорина, 1972; Б. П. Санин, Л. Д. Зорина [12], М. Г. Добровольская [7] и др.). Ниже приводится характеристика минерального состава руд с учётом данных предшественников. Полиметаллические руды месторождения наряду с галенитом и сфалеритом содержат большое число сульфидов железа, меди, мышьяка, а также различные сульфосоли. Общий список минералов, встречающихся в рудных телах, включает более 60 наименований. Главные рудные минералы – пирротин, пирит, сфалерит, галенит, арсенопирит; жильные – кварц, карбонаты, аксинит, гранат, пироксен; второстепенные минералы руд – марказит, халькопирит, буланжерит, джемсонит; жильные – хлорит, флюорит, цеолиты, графит; редко встречающиеся – тетраэдрит, борнит, валериит, кубанит, магнетит, касситерит, станнин, самородное золото и серебро, турмалин. В качестве редких минералов установлены брейтгауптит, раммельсбергит, ульманит, калаверит, дискразит, тетрадимит, висмутин, теллурувисмутин. Текстуры руд массивные, брекчиевидные, прожилково-вкрапленные. Средние содержания (в %):  $Zn - 4,5$ ,  $Pb - 1,2$ . Отношение  $Pb:Zn$  колеблется от 1:3 до 1:5. В качестве попутных компонентов отмечаются золото, серебро, висмут, кадмий, индий, галлий.

Пирит – самый распространённый рудный минерал, отмечается в различных минеральных ассоциациях. Выделяются несколько генераций

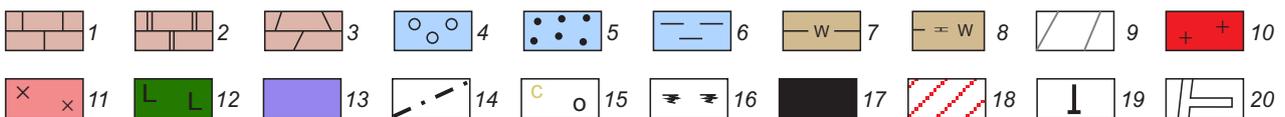
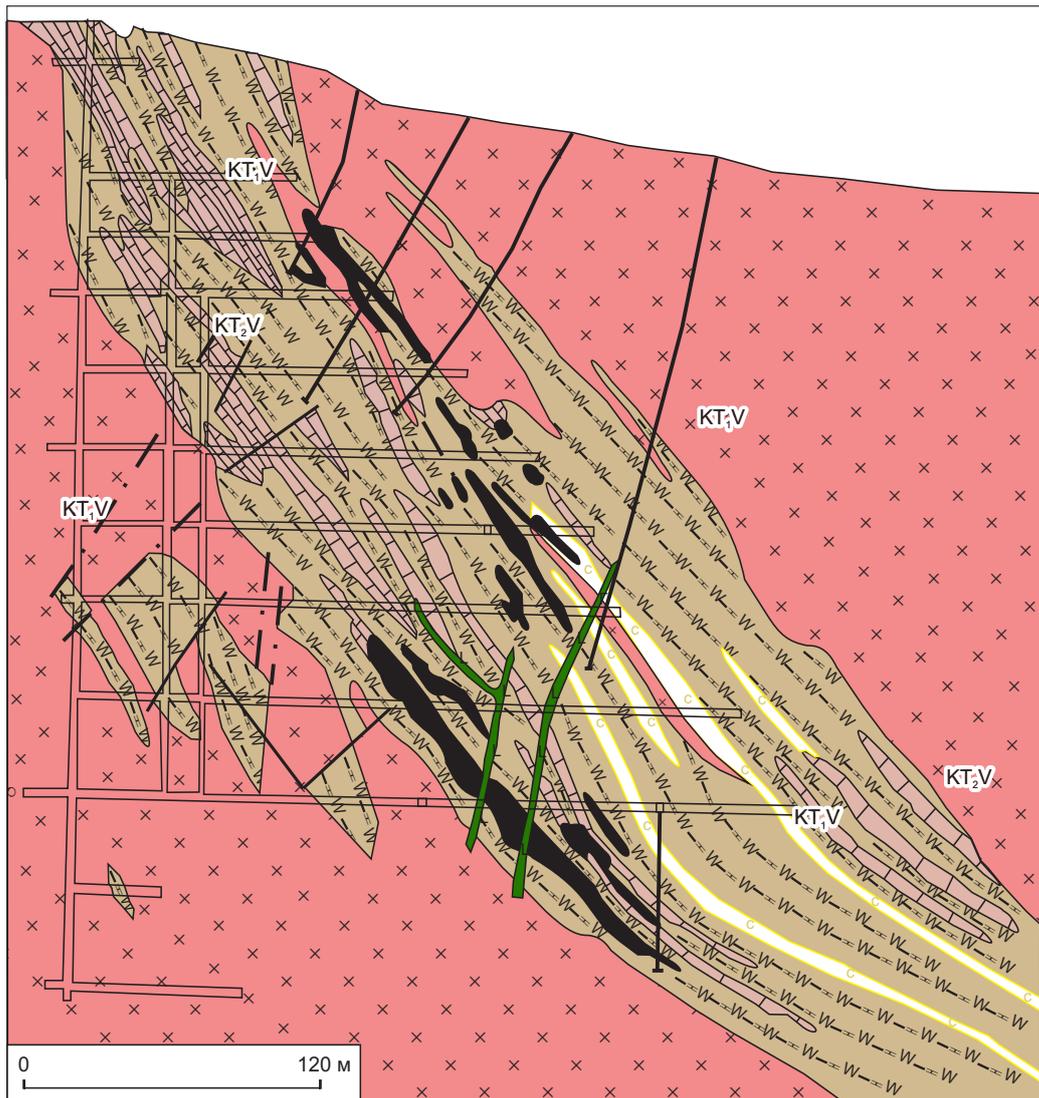
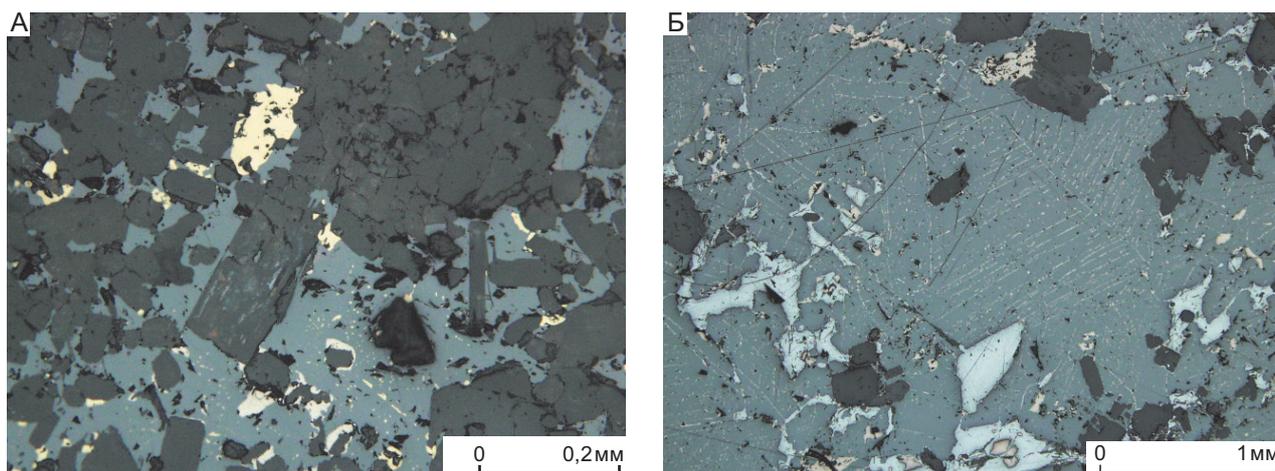


Рис. 2. Схематический разрез через центральную часть месторождения Савинское № 5. С использованием материалов [5]:

фациальные и литологические разновидности рудовмещающих отложений: 1–8 – фации: карбонатных пород: 1 – известняки, доломитистые известняки, 2 – доломиты, известковистые доломиты, 3 – мергели, 4–6 – терригенных отложений: 4 – конгломераты, гравелиты, 5 – песчаники, туфопесчаники, 6 – алевролиты, аргиллиты, 7–8 – углеродсодержащих пород: 7 – углеродистые алевролиты, углеродистые аргиллиты, 8 – углеродисто-карбонатные алевролиты и аргиллиты; 9 – сланцево-карбонатные породы фундамента; 10–13 – интрузивные и субвулканические породы: 10 – граниты, гранодиориты, 11 – диориты, 12 – базальты, андезибазальты, габбро-долериты, 13 – андезиты; 14 – тектонические нарушения; 15 – скарноиды, роговики; 16 – четвертичные отложения; 17 – рудные тела; 18 – зона рудной минерализации; 19 – скважины на разрезе; 20 – шахты, штреки; КТ<sub>1</sub>V–С<sub>1</sub> – венд-нижнекембрийская рудовмещающая вулканогенно-терригенно-карбонатная формация; субформации нижнекембрийские: (КТ<sub>2</sub>–С<sub>1</sub>) – терригенно-карбонатная, КТ<sub>1</sub>V – вендская углеродисто-карбонатная



**Рис. 3. Морфология выделений сфалерита:**

А – сфалерит (голубовато-серый); жёлтый – халькопирит, светло-бежевый – пирротин, тёмно-серые – жильные минералы; Б – сфалерит (голубовато-серый) с эмульсионной вкрапленностью пирротина корродируется галени- том (светло-серый); тёмно-серые – жильные минералы

пирита, отвечающих различным этапам и стадиям рудообразующего процесса.

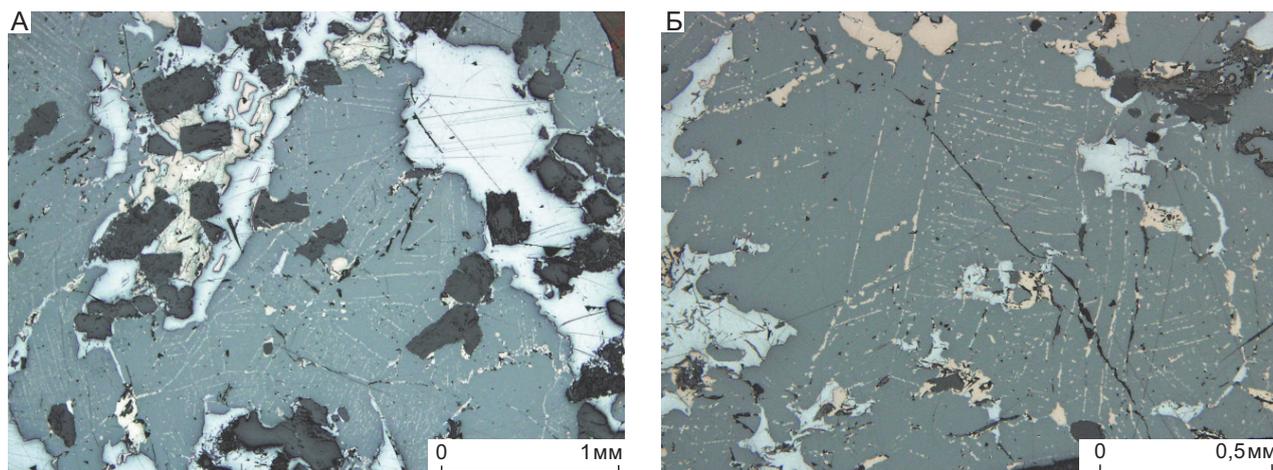
Сфалерит является одним из основных промышленных компонентов руд и, также как и пирит, широко распространён на месторождении. Наиболее ранними представляются выделения сфалерита в виде тонкой эмульсионной вкрапленности, звёздочек, мелких выделений неправильной формы в халькопирите I, реже в пирротине, которые представляют собой структуры распада твёрдых растворов. В ассоциации с этой генерацией сфалерита отмечаются также мелкие выделения валериита, кубанита, станнина, самородного висмута, висмутина.

Основная масса сфалерита в полиметаллических рудах – агрегаты сфалерита II, представленные тёмно-коричневой разностью и слагающие гнёзда, крупные и мелкие обособления среди сульфидов и нерудных минералов, главным образом кварца и карбонатов (рис. 3, А). Структура агрегатов сфалерита гипидиоморфнозернистая, размер зёрен составляет сотые и десятые доли миллиметра. Выделения сфалерита II пересекают и корродируют агрегаты ранее образованных пирита, пирротина и арсенипирита и, в свою очередь, интенсивно замещаются галени- том, халькопиритом, буланжеритом, блёклой рудой и другими минералами поздних стадий минерализации.

Сфалерит почти повсеместно содержит обильную эмульсионную вкрапленность пирротина, реже халькопирита и станнина (см. рис. 3, Б).

Интересно отметить, что в составе эмульсионных выделений отмечаются собственные структуры распада твёрдых растворов: кубанит и халькопирит в пирротине, халькопирит в станнине и пирротине, борнит и валериит в халькопирите. Перекристаллизация сфалерита сопровождается образованием каймы мелких зёрен пирита по границам гнёзд сфалерита. Сфалерит II характеризуется высокими содержаниями железа, составляющими 10–14%. В качестве примесей постоянно встречаются марганец, олово, серебро, индий, кадмий, галлий, реже – селен, кобальт, никель, мышьяк, сурьма, таллий. Содержание кадмия колеблется в пределах 0,1–0,6%, содержания остальных элементов не превышают сотые и тысячные доли процента.

Сфалерит III тесно ассоциирует с галени- том, блёклой рудой, халькопиритом, встречается в виде неправильных скоплений и прожилков, секущих выделения тёмноокрашенного сфалерита II. В отличие от ранних железистых сфалеритов поздняя генерация является маложелезистой и не содержит эмульсионной вкрапленности пирротина и станнина. Редко отмечается эмульсионная вкрапленность халькопирита. Содержания



**Рис. 4. Морфология выделений галенита:**

А – коррозионные структуры замещения галенитом (светло-серый) сфалерита (серый) и пирротина (светло-бежевый); Б – гнезда и прожилки галенита (светло-серый) и пирротина (светло-бежевый) концентрируются вдоль границ зёрен и двойниковых швов сфалерита (серый)

в сфалерите этой генерации составляют (в %): железа – 1,5–4, кадмия – 0,3–0,8, марганца – 0,01, олова – 0,001–0,002.

*Галенит* – широко распространённый минерал в рудах месторождения, наряду со сфалеритом определяет их промышленную ценность. Галенит I выделяется вслед за образованием основной массы сфалерита в рудах и наблюдается в ассоциации с блёклой рудой, буланжеритом, кварцем, карбонатами, хлоритом, слагает жиллообразные тела, гнезда, обособления неправильной формы, проникает по трещинкам во вмещающие породы. Отмечаются выделения галенита в виде псевдоэмульсионной вкрапленности в сфалерите, подчеркивающей зональное строение последнего. Кроме того, в полях галенита наблюдаются реликтовые выделения замещаемого сфалерита.

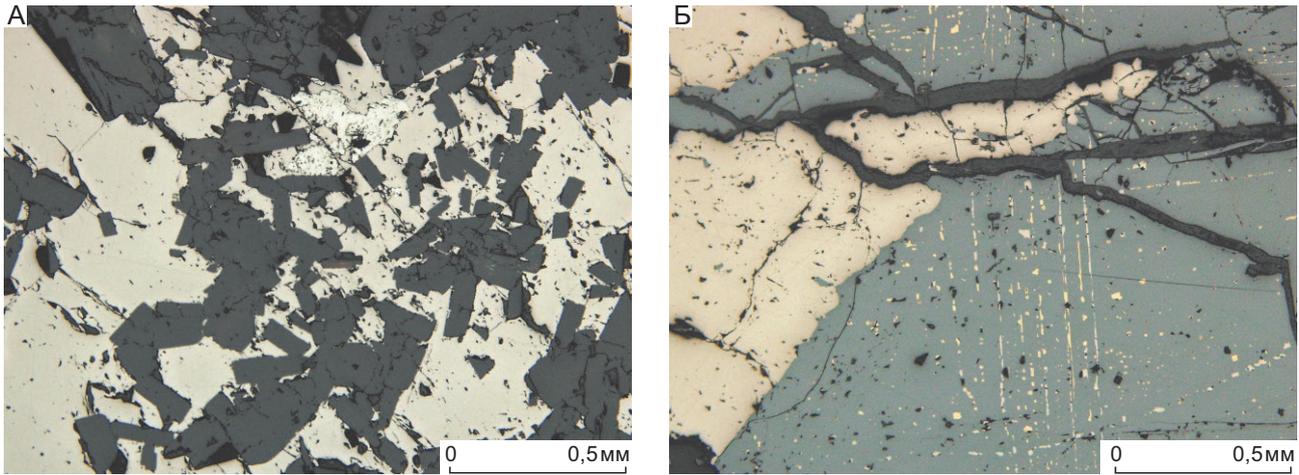
Жилообразные тела имеют мощность до 20–30 см, сложены крупнокристаллическим галенитом массивной текстуры, причём галенит ксеноморфен по отношению к ассоциирующим с ним кварцу и карбонату. Характерно наличие в галените мелких включений тетраэдрита, реже – пираргирита, аргентита, буланжерита.

В прожилковых рудах галенит цементирует и корродирует ранее образованные пирит, арсенопирит и пирротин. Местами процесс замещения протекал с большой интенсивностью, так что сульфиды железа сохранились в полях галенита лишь

в виде мелких обособленных реликтов. По отношению к основной массе сфалерита галенит также является поздним минералом, развиваясь по его агрегатам с образованием разнообразных коррозионных структур (рис. 4).

Для галенита II типично совместное нахождение с блёклой рудой, маложелезистым поздним сфалеритом, халькопиритом, буланжеритом, джемсонитом. Также наблюдается его отчётливая связь с целым рядом редких минералов, среди которых следует отметить самородные золото и серебро, дискразит, пираргирит, аргентит, прустит, полибазит, штрмейерит, алтаит, гессит. Из нерудных минералов галенит наиболее часто ассоциирует с кварцем, карбонатом, хлоритом, серицитом, полевыми шпатами. Время кристаллизации буланжерита, джемсонита и ассоциирующих с ними игольчатого арсенопирита, бурнонита, кварца было, очевидно, несколько длиннее кристаллизации основной массы галенита, чем объясняется наличие коррозионных взаимоотношений галенита с этими минералами. Более позднее время выделения относительно галенита отмечается также для кальцита и флюорита.

*Пирротин.* В отличие от других месторождений Кличкинского рудного поля, где пирротин незначительно представлен, в рудах месторождения Савинское № 5 он является широко распространённым минералом.



**Рис. 5. Морфология выделений пирротина:**

А – пирротин (светло-бежевый), насыщенный включениями идиоморфных зёрен жильных минералов; белый – марказит; Б – пирротин (светло-бежевый) развивается по сфалериту (серый) с эмульсионной вкрапленностью сложного состава

Выделяются несколько генераций пирротина. Пирротин I – наиболее ранняя и количественно преобладающая генерация, характеризуется разнообразными формами выделений: массивные агрегаты, прожилки, вкрапленность, просечки. В ассоциации с пирротином I постоянно отмечаются пирит I, кварц, серицит, в меньшем количестве, но также постоянно – халькопирит, эпидот, актинолит. Агрегаты пирротина и ассоциирующих с ним минералов дробятся и цементируются сфалеритом, галенитом, буланжеритом, кальцитом. В реликтовых обособлениях пирротина в свинцово-цинковых рудах наблюдается интенсивное замещение его, особенно часто галенитом и сфалеритом (рис. 5).

Пирротин II образует эмульсионную вкрапленность в высокожелезистой генерации сфалерита, где он ассоциирует с халькопиритом, валериитом, борнитом, кубанитом, станнином.

Пирротин III наблюдается в тесных сростаниях с блёклой рудой, буланжеритом, халькопиритом, которые встречаются в виде небольших обособлений и мелких пластинчатых выделений в галените.

Арсенопирит довольно широко распространён в рудах месторождения. На некоторых участках установлены крупные скопления этого минерала. Арсенопирит I – наиболее ранняя и преобладающая генерация, представленная крупными (до 1,0 см)

короткостолбчатыми или ромбовидными кристаллами, в тесном сростании с пиритом I и кварцем, образующими сплошные агрегаты и зоны вкрапленности. Выделения пирита, как правило, ксеноморфны по отношению к арсенопириту, хотя наблюдались и обратные взаимоотношения. Агрегаты арсенопирита, как правило, обнаруживают следы дробления. Катаклазированные участки залечены пирротином, сфалеритом, галенитом, буланжеритом, кварцем, карбонатом, которые цементируют и замещают арсенопирит с образованием коррозионных структур.

В рудных телах месторождения наблюдаются горизонтальная и вертикальная зональности. Для верхних горизонтов характерен полиминеральный состав руд. Количество пирита, марказита, арсенопирита в рудах убывает с юга на север. Значительно уменьшается по сравнению с нижними горизонтами количество пирротина. Только на верхних горизонтах встречаются сульфосоли. По направлению с юга на север более или менее ярко выражена смена пирит-арсенопирит-пирротиновых руд колчеданно-полиметаллическими, к которым потом присоединяются кварц и буланжерит. Преобладают массивные текстуры руд. На верхних и средних горизонтах в аксинитовой зоне развиты крупнозернистые руды состава аксинит-кальцит-пирротин-сфалерит-галенит. Устанавливается следующая последовательность отложения

минералов: аксинит, пирротин, сфалерит, галенит, кальцит.

На нижних горизонтах месторождения преобладают пирротин-сфалеритовые и в меньшей степени галенит-пирротин-сфалеритовые руды. Пирротин-арсенопирит-пиритовые руды имеют подчинённое значение. С глубиной постепенно уменьшается содержание галенита, арсенопирита, практически исчезают пирит, марказит, сульфосоли. Существенную роль в составе руд глубоких горизонтов играют скарновые минералы. Преобладают прожилково-гнездово-вкрапленные текстуры руд.

Г. М. Лобанова и Б. П. Санин (1963) в рудном процессе выделяют четыре стадии: стадию образования аксинит-карбонат-слюдистых пород, серицит-пиритовую, сульфидную и стадию наложенной безрудной минерализации. Минеральные ассоциации этих стадий развивались в основном метасоматическим путём с локальным развитием структур выполнения трещин. Некоторые исследователи делят рудный процесс на грейзеновый, сульфидный и силикатно-карбонатный этапы, с выделением четырёх стадий в сульфидном этапе. По их мнению, собственно рудный процесс начался с образования аксинитовых пород. Большинство исследователей относят их к ранней стадии, предшествующей отложению сульфидов. В процессе отложения руд наблюдается отчётливая смена колчеданных руд галенит-сфалеритовыми, а позднее – полиметаллическими с сульфосолями.

*Нерчинско-Заводский рудный район.* В пределах Нерчинско-Заводского района расположены Воздвиженское, Ивановское, Благодатское, Спасское, Михайловское, Кадаинское и другие месторождения. Кадаинское месторождение локализовано в породах терригенно-карбонатной субформации кембрийского возраста, было открыто в 1757 г. и эксплуатировалось с перерывами более 200 лет. Геологический разрез месторождения сложен преимущественно карбонатными породами уровской и быстринской свит вендского и нижнекембрийского возраста соответственно.

Рудовмещающие отложения, представлены породами быстринской свиты и относятся к терригенно-карбонатной субформации. Быстринская свита представляет собой чередование доломитов, глинистых сланцев, кварц-полевошпатовых роговиков и известняков.

В палеоструктурном плане месторождение расположено в центральной части Кличкинско-Када-

инского антиклинория и приурочено к крупному останцу верхнепротерозойских-нижнепалеозойских осадочных пород, осложнённого структурами второго и третьего порядка и залегающему среди массива верхнепалеозойских гранитоидов. Именно к этому останцу, вытянутому в меридиональном направлении, приурочены почти все месторождения Кадаинско-Михайловского рудного узла.

Гранитоидный массив площадью в несколько тысяч квадратных километров состоит из сложного комплекса изверженных пород. В состав его входят порфиридные граниты, лейкократовые граниты, кварцевые порфиры и породы жильной фации гранитоидной интрузии.

В современных структурах Кадаинское месторождение приурочено к юго-восточному крылу брахиантиклинальной складки третьего порядка, которая фиксируется выходом кварцево-слюдистых сланцев. Ось этой складки простирается по азимуту 40° на северо-восток и погружена к северо-востоку. Ядро складки сложено метаморфическими сланцами вендского возраста. Крылья складки представлены мощной нижнекембрийской рудовмещающей толщей карбонатных пород, среди которых на участке месторождения развиты доломитовые известняки, известняки и доломиты.

Складка имеет асимметричное строение и северо-восточное (15–20°) простирание. Северо-западное крыло падает к северо-западу, северо-восточное – пологое под углами 50–55° к юго-востоку.

Из разрывных нарушений на месторождении наиболее важным структурным элементом является Кадаинский разлом. Он осложняет юго-восточное крыло складки, имеет северо-западное простирание, близкое к 350–355°, и падает на восток под углом 85°. В зоне данного разлома локализованы дайки спессаритов, дайка гранит-порфира и одно из крупных тел месторождения – Кадаинская жила.

Интрузивные образования, развитые на территории Кадаинского месторождения, представлены небольшой серией даек и дайкообразных тел лампрофиров, диабазовых порфиритов, диоритов и гранит-порфиров мезозойского возраста.

Кадаинское месторождение относится к колчеданно-свинцово-цинковому минеральному типу с преобладанием свинца над цинком. Среднее отношение  $Pb:Zn = 2,2:1,0$ .

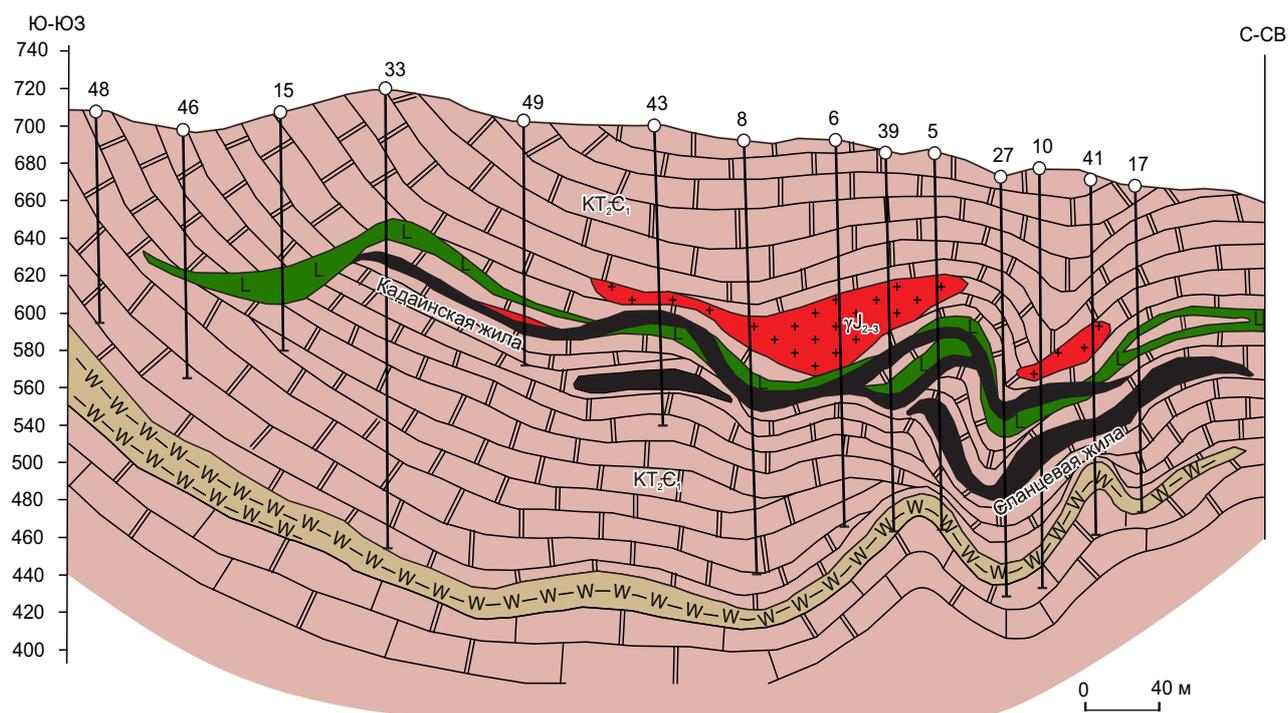


Рис. 6. Продольный разрез месторождения Кадаинское. С использованием материалов [20]:

см. услов. обозн. к рис. 2

Рудные залежи месторождения характеризуются жильной, штоковой, трубообразной и линзовидной формой. На месторождении выделяются три участка: центральный, южный и северный. Рудные тела центрального участка представлены Осиновским штоком и Кадаинской жилой. Южный участок имеет 14 рудных тел линзовидной формы мощностью 0,5–10 м, залегающих согласно слоистости пород. Северный участок имеет 4 трубообразных рудных тела мощностью от 4 до 25 м, также залегающих согласно слоистости пород (рис. 6).

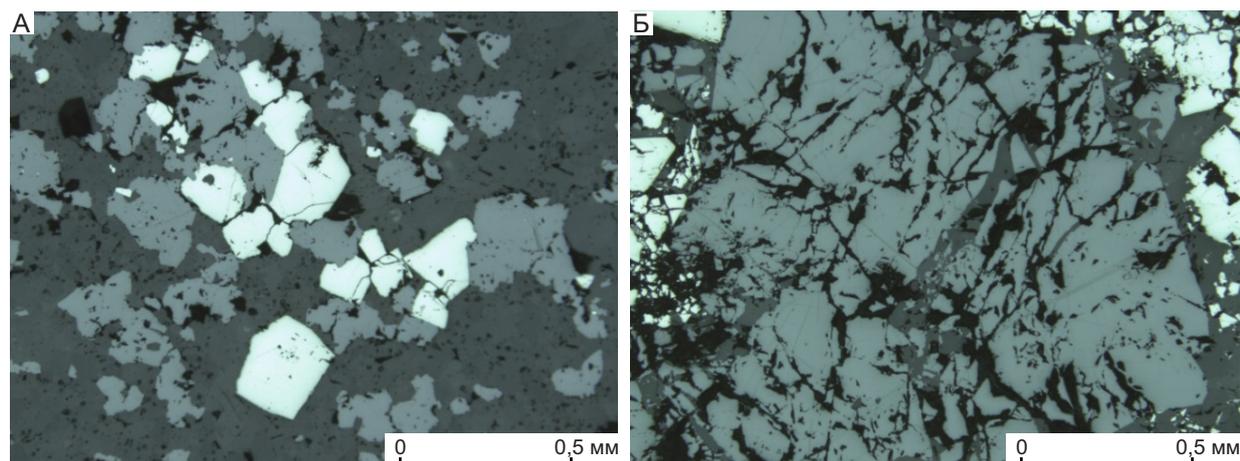
Основной тип руд месторождения – колчеданно-полиметаллический. Текстуры руд: прожилково-вкрапленные (60%), сплошные (25%), брекчиевидные (15%). Минеральные разности руд представлены галенит-сфалеритовым, галенит-сфалерит-пиритовым, арсенопирит-пиритовым типами. На месторождении широко развита зона окисления, прослеженная на глубину от 40 до 200 м и представленная двумя подзонами.

Верхняя подзона распространена до 50–60 м от поверхности и сложена вторичным кварцем, доломитом, кальцитом, лимонитом, гидрогемати-

том, псиломеланом, церусситом и каламином. Нижняя подзона состоит из охр и сажистых скоплений гидроокислов марганца с церусситом и смитсонитом.

Вещественный состав руд месторождения довольно простой. Главными минералами являются сфалерит, галенит, пирит; второстепенными – буланжерит, халькопирит, пирротин, арсенопирит, редкими – касситерит, марказит, геокронит, прустит, пираргирит, аргентит, серебро. Основные компоненты руд – цинк и свинец. Попутными компонентами являются золото, серебро, кадмий, висмут.

*Сфалерит* является одним из главных минералов, который определяет промышленную ценность руд. Наблюдается несколько генераций сфалерита. Сфалерит I отмечается в виде реликтовых включений среди агрегатов пирита I в слоистых рудах. Наиболее распространён высокожелезистый сфалерит второй генерации (сфалерит II), который встречается в составе кристаллически-зернистых пирит-сфалеритовых руд, образованных агрегатами зёрен размером 0,1–0,5 мм массивной, вкрапленной или полосчатой текстуры (рис. 7, А).



**Рис. 7. Морфология выделений сфалерита:**

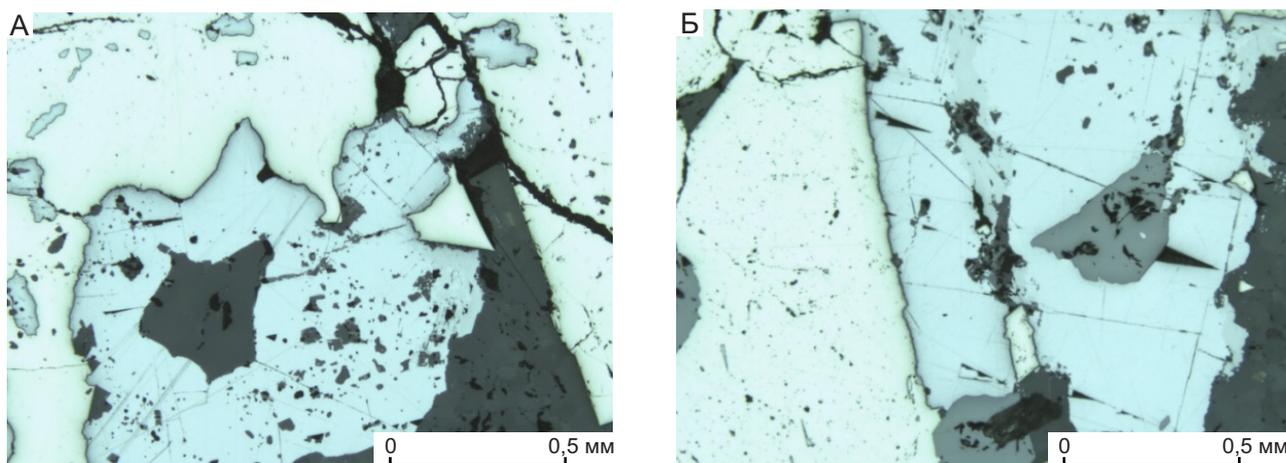
А – вкрапленность и гнёзда сфалерита (серый) в ассоциации с пиритом (белый) в доломитах; Б – трещиноватое гнездо сфалерита (тёмно-серый) цементируется кварц-карбонатными прожилками

Полосчатость обусловлена чередованием полос преимущественно сфалеритового и пиритового состава. Отмечаются также отдельные полосы окварцованных доломитов. Вблизи контактов рудных тел с доломитами встречаются руды с чередованием полос сфалерита, галенита и пирита. Наряду с главными минералами пирит-сфалеритового парагенезиса в его составе отмечается также арсенопирит и марказит. Сфалерит II кристаллизовался после выделения основной массы пирита, марказита и арсенопирита, вместе с кварцем, карбонатами и галенитом цементирует зёрна и агрегаты пирита, выполняет трещинки и пустоты в тонкозернистых пластинчатых агрегатах марказита. В то же время в зонах деформаций раздробленные зёрна сфалерита цементируются кварцем и карбонатами (см. рис. 7, Б). Отдельные зёрна сфалерита содержат эмульсионную вкрапленность халькопирита, иногда пирротина. Сфалерит III менее железистый, представлен среднезернистыми агрегатами, ассоциирующими с поздним галенитом и образующими прожилково-вкрапленные выделения в карбонатных породах. Прожилки сопровождаются анкеритизацией, доломитизацией и перекристаллизацией вмещающих пород.

*Галенит* также является промышленно ценным минералом, хотя в количественном отношении уступает сфалериту и образует вкрапленность, гнёздообразные скопления и прожилки в рудных агрегатах, а также в боковых породах. Выделяют-

ся по крайней мере две генерации галенита. Галенит I представлен мелко- или среднезернистыми агрегатами зёрен размером десятые–сотые доли миллиметра, которые замещают ранее образованные сульфиды, особенно часто пирит (рис. 8, А). Интересно отметить, что выделения галенита и сфалерита часто обособлены друг от друга. В то же время в зонах брекчирования обломки интенсивно раздробленного сфалерита цементируются агрегатами галенита. Галенит-буланжеритовые и галенит-геокронитовые агрегаты наблюдаются в виде гнёзд и линз, а также прожилков в массе пирит-сфалеритовых руд.

Кроме того, галенит нередко заполняет серии мелких субпараллельных трещин во вмещающих породах. С марказитом также наблюдаются противоречивые возрастные соотношения. С одной стороны, галенит заполняет пространство между пластинчатыми выделениями мелкозернистого марказита, с другой – пересекается такими пластинками. Галенит II представлен крупнокристаллическими, иногда гигантозернистыми агрегатами с реликтовыми включениями сфалерита, пирита, арсенопирита. Часть зёрен галенита содержит мелкие включения или прожилки буланжерита, бурнонита, блёклой руды, очень редко – аргентита, пираргирита и самородного серебра (см. рис. 8, Б). Наблюдаются субграфические сростания галенита и блёклой руды, а также выделения миаргирита в галените в виде продуктов распада твёрдого



**Рис. 8. Морфология выделений галенита:**

А – галенит (голубовато-серый) корродирует агрегаты кристаллически-зернистого пирита; Б – прожилок бурнонита (светло-зеленовато-серый) в галените (светло-серый), белый – пирит

раствора. Главная типоморфная особенность галенита – постоянное присутствие примесей серебра, сурьмы и кадмия.

*Буланжерит* – один из поздних минералов полиметаллических руд, входит в состав сульфоантимонит-арсенопирит-карбонатной ассоциации, которая наблюдается в центральных частях рудных тел и занимает секущее положение по отношению к минералам пирит-сфалеритовой ассоциации. Характерно постоянное сонахождение слагающих её минералов, хотя количественные соотношения их изменчивы. Отмечается преобладание то карбоната, то буланжерита. Обычно буланжерит представлен игольчатыми кристаллами, образующими сноповидные агрегаты среди карбонатов, кварца, сфалерита, по периферии зёрен галенита (рис. 9). Сульфоантимонит-карбонатный агрегат цементирует трещиноватые выделения раннего сфалерита, а также заполняет трещинки в них. Во вмещающих породах отмечаются также полоски и скопления неправильной формы, сложенные мелкозернистыми агрегатами буланжерита.

*Шахтаминский рудный район.* Месторождение Акатуевское локализовано в терригенно-карбонатной субформации кембрийского возраста, было открыто в 1815 г. и разрабатывалось в 1815–1857 и 1902–1904 гг. С 1905 по 1939 гг. было законсервировано. В 1950-х гг. вновь началось его освоение. Кроме месторождения Акатуевское, в пределах

одноимённого рудного поля известны месторождения Северо-Акатуевское и Верхне-Акатуевское, которые, по существу, являются различными зонами одного месторождения. Рудные тела месторождения Акатуевское залегают в интенсивно метаморфизованных карбонатно-глинистых породах нижнего палеозоя, приурочены к крупным древним разломам и пространственно связаны со штокверковой фацией верхнеюрских сиенитодиоритов, причём дайки магматических пород вблизи рудных тел интенсивно карбонатизированы, хлоритизированы, содержат сульфидную вкрапленность. Непосредственно рудовмещающими являются неоднородные по составу карбонатные отложения с прослоями углисто-известково-глинистых сланцев. Оруденение представлено жильными или трубообразной формы, а также зонами дробления с прожилково-вкрапленными сульфидами (рис. 10).

Свинцово-цинковые руды Акатуевского месторождения характеризуются присутствием большого числа рудных и жильных минералов, хотя главных рудных минералов немного: галенит, сфалерит и пирит. Некоторые авторы к главным рудным минералам относят также арсенопирит. В небольших содержаниях, но почти повсеместно наблюдаются буланжерит, халькопирит, блёклая руда, марказит, станнин. К редко встречающимся относятся пирротин, пираргирит, геокронит,

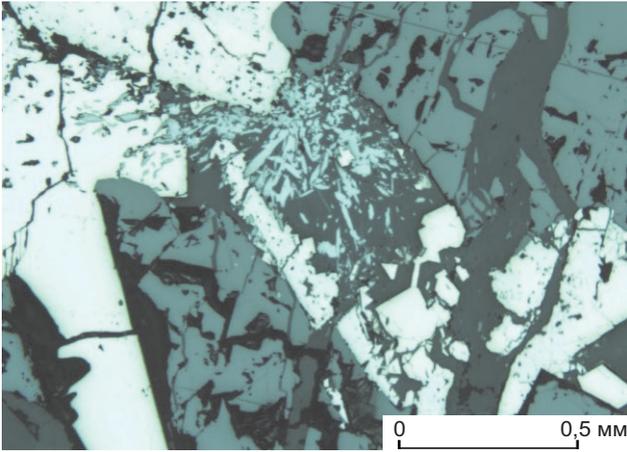


Рис. 9. Сноповидные агрегаты буланжерита (голубовато-серый) в ассоциации с марказитом и сфалеритом

менегинит, бурнонит, аргентит, самородные золото и серебро, висмутин, борнит, касситерит. В жильной матрице руд наиболее развиты марганцево-железистые карбонаты, кварц, кальцит, доломит, отмечаются также флюорит, турмалин, серицит, хлорит, апатит. Состав карбонатов зависит от состава вмещающих пород. В первую группу входят кальциты, развивающиеся по известнякам, во вторую – карбонаты мangan-анкеритового ряда, развивающиеся по доломитам. С. С. Смирнов (1933) отмечал на Акатуевском месторождении также феррородохрозит. В зоне окисления широко развиты окислы и гидроокислы железа и марганца, церуссит, плюмбоарозит, второстепенные и редко встречающиеся – англезит, каолин, скородит, пироморфит, биндгеймит, тальк, розазит, каламин, манганит. Для руд характерны

массивные, пятнистые и прожилково-вкрапленные текстуры, реже отмечаются руды полосчатой и грубополосчатой текстуры. В зонах дробления наблюдаются брекчиевые и брекчиевидные текстуры. В зоне окисления развиты разнообразные землистые, кавернозные, губчатые и другие текстуры.

Свинцово-цинковые руды Акатуевского месторождения имеют пёстрый химический состав и наряду с главными компонентами содержат значительную примесь мышьяка, бора, меди, олова и сурьмы, а из редких элементов – повышенные количества селена, индия, кадмия и серебра, незначительную примесь висмута и теллура, что обусловило большое разнообразие минерального состава. В зависимости от соотношений рудных минералов на месторождении выделяются несколько типов руд. При этом отмечается вертикальная зональность, обусловленная преимущественным распространением на верхних горизонтах галенит-сфалеритовых руд с преобладанием галенита над сфалеритом и с незначительным развитием сульфосолей свинца. На нижних горизонтах они сменяются массивными существенно сфалеритовыми рудами, которые постепенно переходят в сфалерит-пиритовые [12]. Кроме того, на отдельных участках железомарганцевых метасоматитов отмечаются гнездообразные обособления колчеданных руд кварц-пирит-арсенопиритового состава. Наиболее широко эти обособления распространены в Восточной тектонической зоне. Характерными особенностями месторождения являются: 1) интенсивный околорудный метаморфизм вмещающих пород; 2) широкое развитие высокотемпературной ассоциации минералов, представленной ранним арсенопиритом, турмалином,

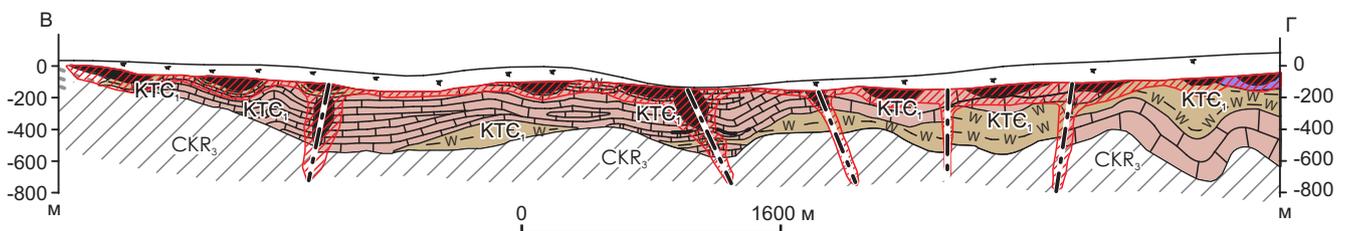
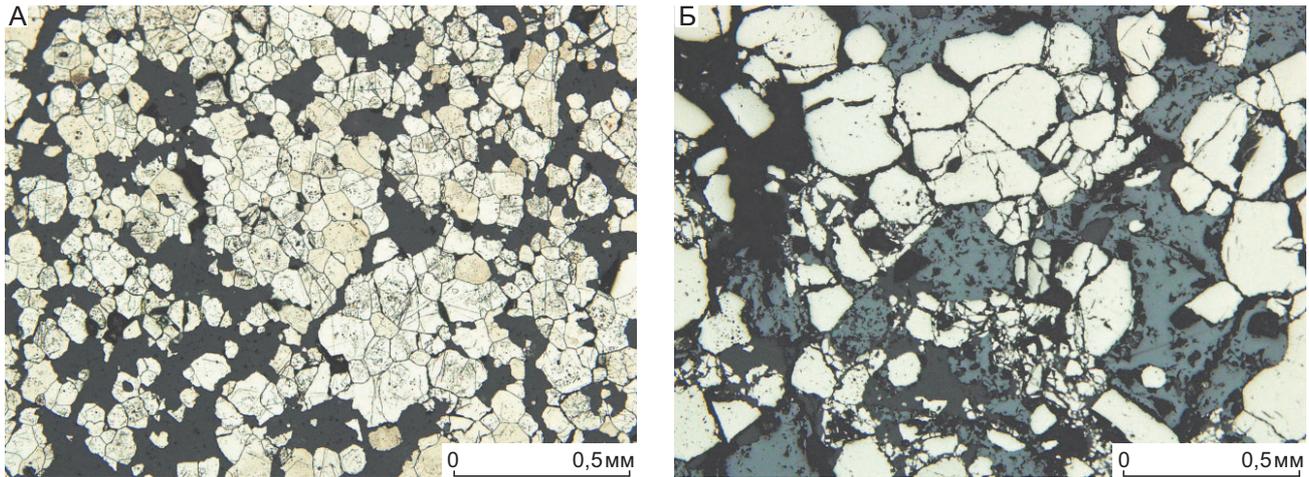


Рис. 10. Схематический продольный разрез через месторождение Акатуевское. С использованием материалов [12]:

см. услов. обозн. к рис. 2



**Рис. 11. Морфология выделения пирита:**

А – агрегаты пирита (белый) гранобластовой структуры, чёрный – кварц; Б – раздробленные агрегаты пирита (белый) цементируются сфалеритом (серый)

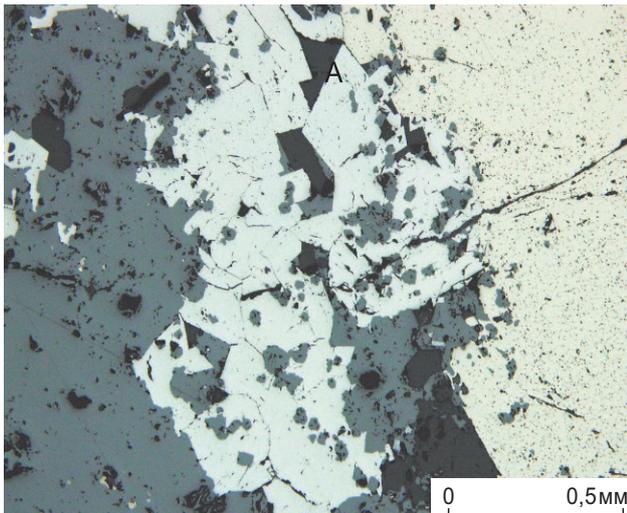
касситеритом; 3) многостадийность процесса рудообразования; 4) обогащённость руд сульфосолями свинца и серебра.

Исследованием минерального состава руд Акатуевского месторождения занимались многие исследователи, которые подтвердили вывод С.С. Смирнова (1955) о многостадийном процессе формирования месторождения. На основании текстурно-структурного, парагенетического анализа, изменения состава рудообразующих минералов разных генераций, внутрирудного преобразования вещества выделяются три стадии формирования руд месторождения: стадия образования железомарганцевых метасоматитов с обособлениями колчеданных руд, полиметаллическая стадия и стадия образования безрудных кальциевых жил.

*Пирит* широко распространён в рудах месторождения и пользуется наибольшим развитием на нижних горизонтах. Выделяется несколько генераций пирита. Пирит I вместе с ассоциирующими минералами образует гнездообразные обособления в железомарганцевых метасоматитах, сложенные агрегатами зёрен гипидиоморфной или гранобластовой структуры, содержащих включения тонкодисперсного материала вмещающих пород (рис. 11, А). Отмечается также вкрапленность отдельных зёрен, идиоморфных или частично огранённых, иногда с включениями сфалерита. Крупные обособления пирита I часто подверга-

ются дроблению и цементации поздними агрегатами кварца или сфалерита. Пирит II наблюдается в тесных сростаниях с галенитом, сфалеритом, арсенопиритом, в которых сульфиды свинца и цинка отчётливо ксеноморфны по отношению к сульфидам железа и мышьяка или цементируют их раздробленные зёрна по трещинкам (см. рис. 11, Б). В то же время весьма вероятно, что главная масса сфалерита и преобладающая часть пирита выделялись последовательно. Пирит II образует также гнёзда размером от долей миллиметра до 7–8 мм, сложенные агрегатом гипидиоморфных зёрен, многие из которых насыщены мелкими включениями рудных и нерудных минералов. Как правило, гнёзда имеют чёткие ровные границы и цементируются жильным кварцем или галенитом. Пирит III наблюдается в небольших количествах в поздних прожилках.

*Сфалерит*. К наиболее ранним выделениям сфалерита в рудах, возможно, относятся его округлые выделения, сохранившиеся в виде включений в пирите и кристаллическом сфалерите. Кроме того, отмечаются реликтовые выделения насыщенного тонкодисперсными включениями сфалерита среди его кристаллических агрегатов. Основная масса сфалерита в рудах представлена сфалеритом II, который наиболее часто наблюдается в сростаниях с пиритом. При этом замещение пирита сфалеритом не проявлено достаточно однозначно, что позволяет отнести их к одному парагенезису. От-



**Рис. 12. Морфология выделений сфалерита (серый) в сростаниях с пиритом (желтовато-белый) и арсенопиритом (белый)**

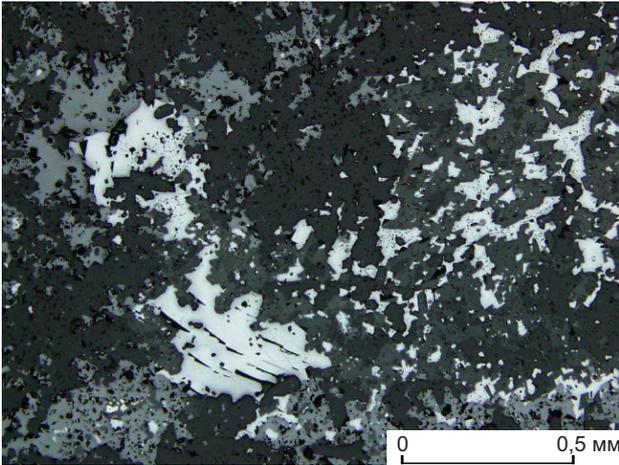
мечаются мономинеральные скопления, гнёзда и прожилки сфалерита и галенита во вмещающих породах и их сростания с извилистыми границами между собой, а также с пиритом, буланжеритом, арсенопиритом, причём сфалерит отчётливо замещается и корродируется галенитом и ассоциирующими с ним минералами (рис. 12). Кроме того, отмечаются включения сфалерита в кристаллах пирита и арсенопирита. Зёрна сфалерита часто содержат эмульсионную вкрапленность халькопирита, реже станина. Структурным травлением в них выявляются полисинтетические двойники. Интересно отметить, что эмульсиевидный халькопирит располагается главным образом по границам зёрен и двойниковых швов сфалерита. В агрегатах сфалерита, подвергшихся дроблению, наблюдаются признаки перегруппировки вещества. В частности, в сфалерите в этих участках рассеян пирит в виде мелких зёрнышек или их цепочек, а также отмечаются тончайшие выделения халькопирита, вытянутые вдоль спайности или двойниковых швов. К жилкам карбоната, секущим пирит, часто приурочен переотложенный сфалерит III, более прозрачный и светлый за счёт меньшего содержания железа. Отчётливо устанавливается одновременное отложение сфалерита, арсенопирита и буланжерита. Прожилковидные выделения буланжерита с карбонатом пересекают сфалеритовые и арсенопирит-кварцевые скопле-

ния. Местами игольчатый буланжерит пронизывает выделения сфалерита или почти нацело его замещает. Главными изоморфными примесями сфалерита являются Fe, Cu, Mn, Sn, Cd, In, Ga. Сурьма, медь и олово наблюдаются также в виде продуктов распада твёрдого раствора (станнин, халькопирит в сфалерите).

*Галенит.* Отмечаются мономинеральные скопления, гнёзда и прожилки галенита во вмещающих породах, а также тесные сростания с пиритом, сфалеритом, буланжеритом, арсенопиритом (рис. 13). Характерной формой выделений галенита является также тонко распылённая вкрапленность среди нерудных минералов. Кроме того, отмечаются включения галенита, реже сфалерита в кристаллах пирита и арсенопирита. Главными изоморфными примесями галенита являются Sb, Ag, Sn. Сурьма, медь и олово наблюдаются также в виде продуктов распада твёрдого раствора (миргирит).

*Арсенопирит* образует вкрапленность отдельных, часто идиоморфных, кристаллов среди нерудных минералов или наблюдается в сростаниях с пиритом и другими сульфидами, в которых также преобладают идиоморфные его выделения (рис. 14). Сростания пирит-арсенопиритового состава корродируются и замещаются поздними минералами.

**Обсуждение полученных результатов.** Таким образом, на месторождениях типа MVT Приаргунской минерагенической зоны выделяются два генетических типа рудных тел – стратиформный (стратифицированный) и штокверковый гидротермально-метасоматический зон поводящих каналов. Стратиформные рудные тела залегают согласно напластованию вмещающих пород в пологих палеовпадинах, приурочены к контактам известняков с доломитами и углеродистыми алевритами или контролируются межслоевыми тектоническими нарушениями. Месторождения рассматриваемого типа формировались синхронно с осадконакоплением. В то же время механизм формирования стратиформных или стратифицированных рудных тел мог быть принципиально различным. На гидротермально-осадочный механизм их формирования указывает комплекс факторов, в числе которых широкое развитие согласно залегающих пластовых рудных залежей, данные изотопного анализа серы сульфидов, наличие слоистых и брекчиевых текстур, колломорфных и фрамбоидальных структур руд, подвер-



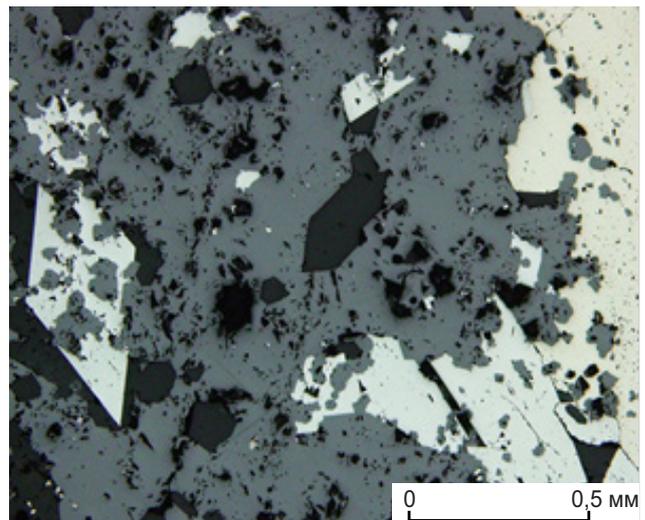
**Рис. 13.** Морфология выделений галенита (светло-серый) в рудах; серый – сфалерит, тёмно-серый – кварц-карбонатный агрегат

женных совместно с вмещающими породами пликативным дислокациям. В то же время наличие признаков эпигенетичности рудообразования – жильные, прожилковые, прожилково-вкрапленные текстуры, широко развитые на месторождениях, – позволяет сделать вывод, что часть рудных тел была сформирована в субмаринных малоглубинных обстановках по модели придонного («subsee floor») отложения рудных залежей путём метасоматоза и выполнения полостей отслоения слаболитифицированных осадков. Значительную роль в формировании месторождений играют постседиментационные преобразования руд в результате процессов диагенеза, эпигенеза и метаморфизма (контактового и дислокационного).

*Геолого-генетические модели рудообразования* [11]. Руды стратиформных свинцово-цинковых месторождений в карбонатных толщах могут быть отнесены к телетермальным и полигенно-полихронным (по В. И. Смирнову) образованиям с комбинацией сингенетических и эпигенетических концентраций рудного вещества. Ни одна из принимаемых генетических концепций не отвергает наличие контроля рудных залежей литологически благоприятными горизонтами карбонатных пород.

Главным фактором, контролирующим образование эпигенетических свинцово-цинковых рудных залежей, является взаимодействие поступающих в верхние горизонты земной коры кислых

металлоносных рассолов с гидрогеохимическими сероводородными (щёлочно-сероводородными) барьерами или гидравлическими завесами. Подобные барьеры начинают формироваться уже при диагенезе осадочных бассейнов в субаквальных морских условиях в зонах резкой литофациальной неоднородности рудовмещающего разреза, для которых характерны изменения режимов кислотности-щёлочности и окислительно-восстановительного потенциала. В этих условиях при участии обильной микрофлоры активно протекают процессы разложения органического вещества и десульфидизация захоранивающихся с осадками морских вод, что приводит к концентрации в водах сероводорода. В зонах катагенеза осадочных бассейнов под действием гравитации, уплотнения, минеральных преобразований пород, сейсмических и других факторов происходит перемещение крупных масс подземных вод с частым смешением подземных вод различных геологических формаций, в том числе металлоносных хлоридных рассолов с сероводородсодержащими водами. Это смешение может осуществляться как внутри пологозалегающих проницаемых горизонтов, так и в полостях крутопадающих разрывных нарушений и тектонических трещин.



**Рис. 14.** Арсенопирит (белый) с включениями сфалерита (серый) и пирит (желтовато-белый)

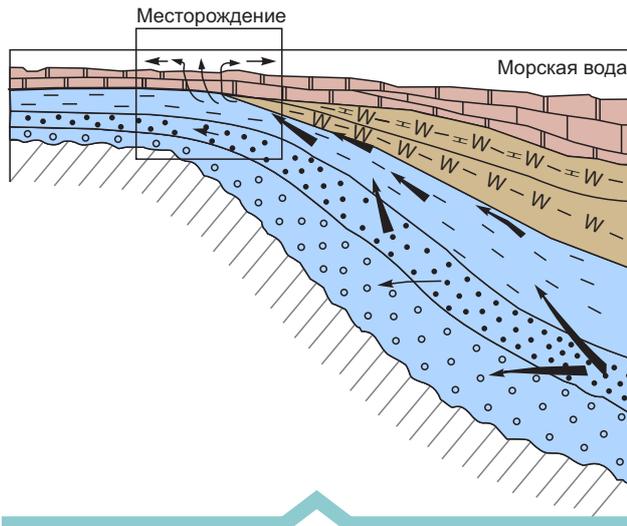


Рис. 15. Модель образования стратиформных свинцово-цинковых месторождений. С использованием материалов [16]:

см. услов. обозн. к рис. 2

Необходимо отметить, что Н. С. Скрипченко (1989) предложена модель формирования рудных концентраций на литогидростатических околотрещинных барьерах, на которых протекают многоступенчатые инверсионные переходы компонентов из растворённых форм в твёрдые и наоборот. Инверсии происходят при снижении внутрипластового давления в тектонических зонах в период сейсмической активности и разгрузки интерстициальных металлоносных рассолов.

Разработанная Н. С. Скрипченко модель, в основу которой положены результаты анализа процессов техногенной разгрузки металлоносных рассолов Челекенской гидротермальной системы (Казахстан), с нашей точки зрения, удовлетворительно объясняет интенсивное отложение свинца, меди, серебра, мышьяка, барита и других минералов в современных рудообразующих системах Челекена, Солотон-Си, нефтеносных полей района реки Миссисипи.

Сингенетические – осадочно-эксфильтрационные стратиформные свинцово-цинковые рудные тела рассматриваемого типа месторождений образуются при проникновении металлоносных рассолов по транзитным зонам на морское дно. Физико-химическая модель формирования подобных объектов на примере месторождений мургалимсайского и шалкиинского типов (хребет Каратау) разработана И. В. Стеценко [16] (рис. 15).

Модель учитывает следующие положения.

1. Формирование рудоносных рассолов происходило в результате элизии захороненных вод в породах терригенной формации, подстилающей рудовмещающие толщи.

2. Состав и свойства формирующихся рассолов в значительной степени зависят от глубины их зарождения. При глубинах до 2,5–3 км и температурах 50–700 °С образуются рассолы К–Na–Mg–Ca–Ba состава с количеством рудных компонентов к моменту насыщения 10<sup>-3</sup>–10<sup>-4</sup> моль/кг (H<sub>2</sub>O) (элизионные системы мургалимсайского типа); при увеличении глубин и росте температур до 100–1500 °С в рассолах постепенно растёт содержание кремнезёма до 10<sup>-2</sup>–10<sup>-3</sup> моль/кг (H<sub>2</sub>O) (элизионные системы шалкиинского типа).

3. Рудоносные рассолы элизионной гидродинамической системы мигрировали в направлении пьезоминимумов с разгрузкой на морское дно. Распределение пьезоминимумов контролировалось бортами тектонически осложнённых конседиментационных поднятий и участками резкого (от 2000–4000 до 300–500 м) падения мощностей терригенной формации (см. рис. 15).

4. Распределение рассолов контролировалось неровностями дна морского палеобассейна и морскими подводными течениями. Поступающие рассолы необратимо взаимодействовали с морскими водами, смешиваясь с ними в различных пропорциях при уменьшении доли рассолов по мере удаления от места их излияния.

В заключение следует подчеркнуть, что описанные выше модели формирования стратиформных свинцово-цинковых месторождений в карбонатных породах в настоящее время не дают однозначного ответа на вопрос о генезисе рассматриваемых рудных объектов. Даже наиболее аргументированные из них – дискуссионны. Между тем их ценность с утилитарной точки зрения заключается в том, что они удовлетворительно объясняют стратиформность (в широком смысле) рудных залежей, их приуроченность к достаточно узким литолого-стратиграфическим уровням, зонам резкой литолого-фациальной неоднородности рудовмещающих толщ и другие указанные выше особенности строения и закономерности локализации рудных тел, которые могут быть установлены при изучении рассматриваемых месторождений.

#### Выводы.

1. В пределах Приаргунской минерагенической зоны выделяются два типа месторождений:

в вендкембрийских осадочных (карбонатных) породах – MVT со свинцово-цинково-колчеданным оруденением и в мезозойских вулканогенных породах – VMS с колчеданно-полиметаллическим.

2. Месторождения типа MVT приурочены к вулканогенно-карбонатно-терригенной формации. Установлены два генетических типа рудных тел – стратиформный (стратифицированный) и штокверковый гидротермально-метасоматический зон подводящих каналов.

3. Стратиформные рудные тела залегают согласно напластованию вмещающих пород в полных палеодепрессиях, приурочены к контактам известняков с доломитами и углеродистыми алевролитами или контролируются межслоевыми тектоническими нарушениями.

4. В целом месторождения Приаргунского типа содержат высокие содержания серебра, а содержания золота распределены неравномерно. Вероятно, повышенная золотоносность ряда месторождений (Ивановское, Акатуевское, Центральное, Ируновское) связана с близостью зон подводящих каналов и поздним привносом золота в ассоциации с шерловым турмалином.

5. Руды стратиформных свинцово-цинковых месторождений типа MVT могут быть отнесены к телетермальным и полигенно-полихронным (по В.И. Смирнову) образованиям с комбинацией сингенетических и эпигенетических концентраций рудного вещества. Ни одна из принимаемых генетических концепций не отвергает наличия контроля рудных залежей литологически благоприятными горизонтами карбонатных пород.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексеев Д. Н.* Стратиформное свинцово-цинковое оруденение Забайкалья и Приаргунья // Литология и полезные ископаемые. – 1975. – № 5. – С. 93–102.
2. *Архангельская В. В.* Геология свинцово-цинковых месторождений Кличкинского рудного района (Восточное Забайкалье) // Труды ИГЕМ АН СССР. – Вып. 83. – М.: Изд-во Академии наук СССР, 1963. – 212 с.
3. *Вопросы геологии и генезиса некоторых свинцово-цинковых месторождений* // Труды ин-та геологии рудных месторождений, петрографии и геохимии. – Вып. 83. – М.: Изд-во АН СССР, 1963. – 646 с.
4. *Горжевский Д. И., Козеренко В. Н.* О происхождении свинцово-цинковых месторождений // Советская геология. – 1971. – № 7. – С. 34–46.
5. *Горжевский Д. И., Кудрявцева Н. Г., Пугачева И. П.* и др. Геологические основы прогноза месторождений СССР с существенно свинцовыми рудами // Геология, методы поисков и разведки месторождений металлических полезных ископаемых: Информ. обзор. – М.: ВИЭМС, 1989. – Вып. 4. – 55 с.
6. *Горжевский Д. И., Кудрявцева Н. Г., Пугачева И. П.* Латерально-вертикальная миграция свинцово-цинковых месторождений в истории развития металлогенических зон // Геология и разведка. – 1992. – № 2. – С. 59–64.
7. *Добровольская М. Г.* Свинцово-цинковое оруденение (рудные формации, минеральные парагенезисы, особенности рудообразования). – М.: Наука, 1989. – 216 с.
8. *Козеренко В. Н.* Геологическое строение юго-восточной части Восточного Забайкалья. – Львов: Изд-во Львовского университета, 1956. – 310 с.
9. *Кузнецов В. В., Брель А. И., Богославец Н. Н., Елишина С. Л., Кузнецова Т. П., Серавина Т. В.* Металлогения Приаргунской структурно-формационной зоны // Отечественная геология. – 2018. – № 2. – С. 32–43.
10. *Кухмазов И. С., Кузнецов В. В., Кузнецова Т. П., Кудрявцева Н. Г.* Условия локализации венд-кембрийских колчеданно-полиметаллических месторождений Восточного Забайкалья // Материалы VII научно-практической конференции «Научно-методические основы прогноза, поисков и оценки месторождений благородных и цветных металлов – состояние и перспективы». – М.: ФГУП «ЦНИГРИ», 2017. – С. 35–36.
11. *Ручкин Г. В., Донец А. И.* Стратиформные свинцово-цинковые месторождения в карбонатных толщах. Серия: Модели месторождений благородных и цветных металлов / Науч. ред. А. И. Кривцов. – М.: ЦНИГРИ, 2002. – 123 с.
12. *Санин Б. П., Зорина Л. Д.* Формации свинцово-цинковых месторождений Восточного Забайкалья. – М.: Наука, 1980. – 184 с.
13. *Серавина Т. В., Кузнецова Т. П., Кузнецов В. В., Богославец Н. Н.* Колчеданно-полиметаллические месторождения Приаргунской минерагенической зоны // Материалы IX научно-практической конференции «Научно-методические основы прогноза, поисков и оценки месторождений благородных и цветных металлов – состояние и перспективы». – М.: ФГБУ «ЦНИГРИ», 2019. – С. 198–199.

14. Сердюк Л. В. Метасоматические и рудные формации Южного Приаргуны : специальность 25.00.11 «Геология, поиски и разведка твёрдых полезных ископаемых, минерагения» : дис. на соискание учён. степ. канд. геол.-минерал. наук / Сердюк Людмила Валентиновна. – Иркутск, 2003. – 226 с.
15. Смирнов С. С. Полиметаллические месторождения и металлогения Восточного Забайкалья. – М. : Из-во АН СССР, 1961. – 507 с.
16. Стеценко В. П., Донец А. И., Севрюгин Н. Н. Геология и генезис стратиформных свинцово-цинковых месторождений в карбонатных породах хребта Каратау. – М. : Недра, 1989. – 115 с.
17. Филатов Е. И. Геологические предпосылки и методика поисков скрытого оруденения в блоках древних пород, располагающихся среди интрузивов (на примере Кадаинского рудного поля в Восточном Забайкалье) : дис. на соискание учён. степ. канд. геол.-минерал. наук / Евгений Иванович Филатов. – М. : Моск. геол.-развед. ин-т им. С. Орджоникидзе, 1967. – 428 с.
18. Филатов Е. И. Полиметаллические месторождения фанерозоя. – М. : Недра, 1986. – С. 127–152.
19. Чекавцев Е. А. Отчёт о геологоразведочных работах на Кадаинском месторождении с подсчётом запасов по состоянию на 1 февраля 1952 г. – Главвостокгеология, Читинское геологическое управление, Кадаинская партия. – 1952.
20. Шивохин Е. А., Озерский А. Ф., Артамонова Н. А., Духовский А. А., Карасев В. В., Куриленко А. В., Надеждина Т. Н., Павленко Ю. В., Раитина Н. И., Шор Г. М. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Алдано-Забайкальская. Лист М-50 (Борзя). Объяснительная записка. – СПб. : Изд-во СПб картфабрики ВСЕГЕИ, 2010. – 553 с.

### REFERENCES

1. Alekseyev D. N. Stratiformnoye svintsovo-tsinkovoye orudneniye Zabaykal'ya i Priargun'ya [Stratiform lead-zinc mineralization of Transbaikalia and the Argun region]. *Litologiya i poleznyye iskopayemye*, 1975, No. 5, pp. 93–102. (In Russ.)
2. Arkhangel'skaya V. V. Geologiya svintsovo-tsinkovykh mestorozhdeniy Klichkinskogo rudnogo rayona (Vostochnoye Zabaykal'ye) [Geology of lead-zinc deposits of the Klichinsky ore district (Eastern Transbaikalia)]. *Trudy IGM AN SSSR*, Is. 83, Moscow, Izd-vo Akademii nauk SSSR publ., 1963, 212 p. (In Russ.)
3. *Voprosy geologii i genezisa nekotorykh svintsovo-tsinkovykh mestorozhdeniy* [Questions of geology and genesis of some lead-zinc deposits]. *Trudy in-ta Geologii rudnykh mestorozhdeniy, petrografii i geokhimii*, Is. 83, Moscow, Izdatel'stvo AN SSSR publ., 1963, 646 p. (In Russ.)
4. Gorzhevskiy D. I., Kozerenko V. N. O proiskhozhdenii svintsovo-tsinkovykh mestorozhdeniy [On the origin of lead-zinc deposits]. *Sovetskaya geologiya*, 1971, No. 7, pp. 34–46. (In Russ.)
5. Gorzhevskiy D. I., Kudryavtseva N. G., Pugacheva I. P. et al. Geologicheskiye osnovy prognoza mestorozhdeniy SSSR s sushchestvenno svintsovymi rudami [Geological basis for forecasting USSR deposits with essentially lead ores]. *Geologiya, metody poiskov i razvedki mestorozhdeniy metallicheskih poleznykh iskopayemykh*, Moscow, VIEMS publ., 1989, Is. 4, 55 p. (In Russ.)
6. Gorzhevskiy D. I., Kudryavtseva N. G., Pugacheva I. P. Lateral'no-vertikal'naya migratsiya svintsovo-tsinkovykh mestorozhdeniy v istorii razvitiya metallogenicheskikh zon [Lateral-vertical migration of lead-zinc deposits in the history of the development of metallogenic zones]. *Geologiya i razvedka*, 1992, No. 2, pp. 59–64. (In Russ.)
7. Dobrovolskaya M. G. Svintsovo-tsinkovoye orudneniye (rudnyye formatsii, mineral'nyye paragenезisy, osobennosti rudoobrazovaniya) [Lead-zinc mineralization (ore formations, mineral parageneses, features of ore formation)], Moscow, Nauka, 1989, 216 p. (In Russ.)
8. Kozerenko V. N. Geologicheskoye stroeniye yugovostochnoy chasti Vostochnogo Zabaykal'ya [Geological structure of the south-eastern part of Eastern Transbaikalia]. Lvov, Lvov University publ., 1956, 310 p. (In Russ.)
9. Kuznetsov V. V., Brel' A. I., Bogoslavets N. N., Yel'shina S. L., Kuznetsova T. P., Seravina T. V. Metallogeniya Priargunskoy strukturno-formatsonnoy zony [Metallogeny of the Agrun structural-formatsonal zone]. *Otechestvennaya geologiya* [Domestic Geology], 2018, No. 2, pp. 32–43. (In Russ.)
10. Kukhmazov I. S., Kuznetsov V. V., Kuznetsova T. P., Kudryavtseva N. G. Usloviya lokalizatsii vend-kembriyskikh kolchedanno-polimetallicheskih mestorozhdeniy Vostochnogo Zabaykal'ya [Localization conditions for Vendian-Cambrian pyrite-polymetallic deposits in Eastern Transbaikalia]. *Materialy VII nauchno-prakticheskoy konferentsii "Nauchno-metodicheskiye osnovy prognoza, poiskov i otsenki mesto-*

- rozhdeniy blagorodnykh i tsvetnykh metallov – sostoyaniye i perspektivy”, Moscow, FGUP “TSNIGRI”, 2017, pp. 35–36. (In Russ.)
11. *Ruchkin G. V., Donets A. I.* Stratiformnyye svintsovo-tsinkovyie mestorozhdeniya v karbonatnykh tolshchakh. Seriya: Modeli mestorozhdeniy blagorodnykh i tsvetnykh metallov [Stratiform lead-zinc deposits in carbonate strata. Series: Models of deposits of precious and non-ferrous metals]. Ed. A. I. Krivtsov, Moscow, TSNIGRI publ., 2002, 123 p. (In Russ.)
  12. *Sanin B. P., Zorina L. D.* Formatsii svintsovo-tsinkovykh mestorozhdeniy Vostochnogo Zabaykal’ya [Formations of lead-zinc deposits in Eastern Transbaikalia], Moscow, Nauka publ., 1980, 184 p. (In Russ.)
  13. *Seravina T. V., Kuznetsova T. P., Kuznetsov V. V., Bogoslavets N. N.* Kolchedanno-polimetallicheskiye mestorozhdeniya Priargunskoy mineragenicheskoy zony [Pyrite-polymetallic deposits of the Argun mineragenic zone]. Materialy IX nauchno-prakticheskoy konferentsii “Nauchno-metodicheskiye osnovy prognoza, poiskov i otsenki mestorozhdeniy blagorodnykh i tsvetnykh metallov – sostoyaniye i perspektivy”, Moscow, FGBU “TSNIGRI” publ., 2019, pp. 198–199. (In Russ.)
  14. *Serdyuk L. V.* Metasomaticheskiye i rudnyye formatsii Yuzhnogo Priargun’ya [Metasomatic and ore formations of the Southern Argun region], Irkutsk, 2003, 226 p. (In Russ.)
  15. *Smirnov S. S.* Polimetallicheskiye mestorozhdeniya i metallogeniya Vostochnogo Zabaykal’ya [Polymetallic deposits and metallogeny of Eastern Transbaikalia], Moscow, Iz-vo AN SSSR publ., 1961, 507 p. (In Russ.)
  16. *Stetsenko V. P., Donets A. I., Sevryugin N. N.* Geologiya i genesis stratiformnykh svintsovo-tsinkovykh mestorozhdeniy v karbonatnykh porodakh khrebta Karatau [Geology and genesis of stratiform lead-zinc deposits in carbonate rocks of the Karatau ridge], Moscow, Nedra publ., 1989, 115 p. (In Russ.)
  17. *Filatov E. I.* Geologicheskiye predposylki i metoda poiskov skrytogo orudneniya v blokakh drevnikh porod, raspolagayushchikhsya sredi intruzivov (Na primere Kadainskogo rudnogo polya v Vostochnom Zabaykal’ye) [Geological prerequisites and methods for searching for hidden mineralization in blocks of ancient rocks located among intrusions (On the example of the Kadainsky ore field in Eastern Transbaikalia)], Moscow, Moscow Geological exploration Institute named after S. Ordzhonikidze publ., 1967, 428 p. (In Russ.)
  18. *Filatov E. I.* Polimetallicheskiye mestorozhdeniya fanerozoia [Polymetallic deposits of the Phanerozoic], Moscow, Nedra publ., 1986, pp. 127–152. (In Russ.)
  19. *Chekavtsev E. A.* Otchot o geologorazvedochnykh rabotakh na Kadainskom mestorozhdenii s podsчетом zapasov po sostoyaniyu na 1 fevralya 1952 [Report on geological exploration work at the Kadai field with calculation of reserves as of February 1, 1952], Glavvostokgeologiya, Chitinskoye geologicheskoye upravleniye, Kadainskaya partiya publ., 1952. (In Russ.)
  20. *Shivokhin E. A., Ozerskiy A. F., Artamonova N. A., Dukhovskiy A. A., Karasev V. V., Kurilenko A. V., Nadezhkina T. N., Pavlenko Yu. V., Raitina N. I., Shor G. M.* Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii. Masshtab 1:1 000 000 (tret’ye pokoleniye). Seriya Aldano-Zabaykal’skaya. List M-50 (Borzya). Obyasnitel’naya zapiska [State geological map of the Russian Federation. Scale 1:1,000,000 (third generation). Aldano-Zabaikalskaya series. Sheet M-50 (Borzya). Explanatory note], St. Petersburg, Izd-vo SPb kartfabriki VSEGEI publ., 2010, 553 p. (In Russ.)

Статья поступила в редакцию 11.10.23; одобрена после рецензирования 26.10.23; принята к публикации 26.10.23.  
The article was submitted 11.10.23; approved after reviewing 26.10.23; accepted for publication 26.10.23.