

УДК 553.444+553/3(571.54)

ГОРЕВСКОЕ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ (СИБИРЬ, РОССИЯ): МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ РУД И ОСОБЕННОСТИ РУДООТЛОЖЕНИЯ

© 2023 г. **К. Р. Ковалев^a, Ю. А. Калинин^a, К. В. Лобанов^b, Е. А. Наумов^c,
А. А. Боровиков^a, В. П. Сухоруков^a**

^aИнститут геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН,
просп. Академика Коптюга, 3, Новосибирск, 630090 Россия

^bСибирский Федеральный Университет, пр. Свободный, 79, Красноярск, 660041 Россия

^cЦентральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов,
Варшавское шоссе, д. 129, корп., 1 Москва, 117545 Россия

*E-mail: kalinin@igm.nsc.ru

Поступила в редакцию 30.01.2023 г.

После доработки 03.03.2023 г.

Принята к публикации 09.03.2023 г.

В работе показано генетическое разнообразие строения и минерального состава руд Горевского Pb–Zn месторождения, выявлены главные признаки отложения рудного вещества, синхронного с процессами седиментации в осадочном бассейне. Рассмотрены текстурно-структурные признаки и минеральные ассоциации руд, сопровождающие разнообразные процессы метаморфизма и пострудных преобразований. Детализирована последовательность гидротермально-осадочного синседиментационного формирования руд Горевского Pb–Zn месторождения в результате прямого осаждения рудных компонентов непосредственно из придонных рудоносных растворов. Сделано предположение, что два типа руд, отличающихся по вещественному составу, структурно-текстурным особенностям, морфологии и положению в пространстве, являются проявлением рудно-фациальной зональности единой рудно-гидротермальной системы: слоистые свинцово-цинковые относятся к дистальным, а брекчиевые существенно свинцовые – к ее проксимальным частям. Показана важная роль пострудных процессов регионального и динамотермального метаморфизма в преобразовании первично-осадочных руд. В основу исследования положен метод детального изучения текстурно-структурных особенностей руд в полированных и шлифованных образцах; изучение микроструктурных и минеральных особенностей и состава рудных и нерудных минералов проводилось современными методами. Основная масса руд Горевского месторождения демонстрируют текстурно-структурные признаки синседиментационного отложения, единовременного с вмещающими углеродисто-слюдисто-кремнисто-карбонатными породами, и сохраняет эти главные структурные особенности как на макро-, так и на микроуровне. Полученные результаты анализируются в сравнении с другими полиметаллическими месторождениями России и других регионов мира.

Ключевые слова: Горевское месторождение, Енисейский кряж, свинец, цинк, кремнисто-сидеритовые породы, текстурно-генетические и минеральные типы руд, гидротермально-осадочный рудогенез, флюидные включения

DOI: 10.31857/S0016777023030024, **EDN:** TXXRLR

ВВЕДЕНИЕ

В Сибири расположены три крупнейших полиметаллических месторождения: Холоднинское в Северном Прибайкалье, Озерное в Западном Забайкалье и Горевское в Енисейском Приангарье. Суммарные запасы свинца и цинка этих месторождений составляют более 30 млн т. Настоящая статья посвящена уникальному Горевскому месторождению, расположенному на левом берегу и частично в русле р. Ангара, в 40 км от ее впадения в р. Енисей. Открытое Ю.Н. Глазыриным и

Е.И. Врублевичем в 1956 году, месторождение детально разведано и в настоящее время отрабатывается открытым способом. На сегодня общие запасы свинца и цинка (с учетом добычи) составляют 8.8 млн т при средних содержаниях Pb – 6.15%, Zn – 2.02%, Ag – 55.4 г/т и Cd – 0.004%.

Горевское месторождение широко описано в отечественной литературе и представляет собой объект длительных дискуссий исследователей о генезисе оруденения. На ранних этапах открытия и разведки месторождения преобладала точка

зрения гидротермально-метасоматического происхождения рудной минерализации (Атлас ..., 1973; Бровков и др., 1976, 1983; Выдрин и др., 1964; Охапкин и др., 1976; Просняков, Володин, 1962; Шерман, 1968, 1971). Оруденение связывалось с комплексом даек диабазов и долеритов, проявленным в районе и на месторождении. Предполагали также генетическую связь оруденения с палеотермальными аномалиями глубоко-залегающих гипотетических гранитоидных очагов или корневыми зонами рифейских вулканов (Охапкин, 1974; Мирошников и др., 1976; Охапкин, Бутан, 1989). Последующими геофизическими исследованиями таких очагов в районе месторождения обнаружено не было. В.М. Поповым (1969) впервые была высказана идея первичного осадочного накопления рудного вещества в донных карбонатных отложениях депрессий за счет разрушающихся пород докембрийского фундамента с последующим переходом его в сульфидную форму на стадии диагенеза осадков. Вариант седиментационно-эксгальационного происхождения руд Горевского месторождения из придонных рудоносных растворов за счет разгрузки гидротермальных растворов в приразломную депрессионную структуру в последующем рассматривался многими исследователями (Пономарев, 1979; Дистанов, Пономарев, 1980; Кузнецов и др., 1990; Пономарев и др., 1991; Distanov et al., 1999). Модель осадочно-диагенетического происхождения руд в условиях катагенеза при важной роли процессов переотложения первичного рудного материала внутрипоровыми растворами предложена в работе (Belokonov et al., 2021).

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ, ФАКТИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ И АНАЛИТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

Сложная структурно-тектоническая позиция Горевского месторождения, интенсивная тектоническая нарушенность и дислоцированность, проявление интрузивного магматизма в виде дайковых тел основного состава значительно осложнили строение первичных руд и вмещающих пород, которые приобрели некоторые признаки гидротермально-метасоматического и метаморфогенного происхождения. Цель данной работы: на основе изучения генетического разнообразия структурно-текстурных особенностей и минерального состава руд месторождения установить главные признаки синхронного отложения рудного вещества из придонных рудоносных растворов, связанных с процессами седиментации в осадочном бассейне; рассмотреть текстурно-структурные признаки и минеральные ассоциации, сопровождающие разнообразные процессы метаморфизма. Решение этих вопросов имеет принципиальное значение для установления первичных черт строения руд метаморфизованных

месторождений этого типа (Shadlun, 1982; Spry et al., 2007). Полученные результаты анализируются в сравнении с другими полиметаллическими месторождениями в России и в других регионах мира, а также с позиции современного сульфидного рудообразования в рифтогенных структурах океанов. Для достижения цели исследования использовалась обширная систематическая коллекция пород и руд месторождения, собранная Э.Г. Дистановым, К.Р. Ковалевым, А.И. Бусленко, В.Г. Пономаревым, В.А. Акимцевым, С.В. Сараявым при изучении образцов кернового бурения и карьера в период работ 1973–1990 гг., а также при посещениях месторождения в 2000 и 2019 годах. Кроме того, использовались некоторые новые данные, полученные в процессе эксплоразведки и отработки Горевского месторождения в 2000-е годы.

В основу работы положено детальное изучение текстурно-структурных особенностей руд в полированных и пришлифованных образцах. Микро-структурные и минеральные особенности и состав рудных и нерудных минералов изучались в проходящем и отраженном свете, на рентгено-спектральном микроанализаторе (JEOL JXA-800) и сканирующих электронных микроскопах (TESCAN MIRA 3LMU, JSM-65101V). Для диагностики и изучения химического состава вещества использованы различные методы: рентгенофлюоресцентный, рентгенофазовый, ИК-спектроскопия, атомно-абсорбционный, ICP MS (ООО ALS Чита Лаборатория, г. Чита).

Для исследования флюидных включений применялись методы крио-, и термометрии (микротермокамера THMSG-600 фирмы Linkam с диапазоном измерений от -196 до $+600^{\circ}\text{C}$). Изучение состава газовой фазы включений проводилось методом КР-спектроскопии (спектрометр Ramanor U-1000 фирмы JobinYvon, лазер MillenniaProS2 (532 nm), детектор HORIBA JOBIN YVON, г. Новосибирск). Общая концентрация солей в растворах флюидных включений и принадлежность их к той или иной водно-солевой системе определялись по данным криометрии (Борисенко, 1982; Bodnar, 1988; Bodnar, Vityk, 1994; Bakker, 2018). При оценке давления и определении других параметров среды минералообразования по микро-термометрическим данным изучения флюидных включений использовались программные пакеты "AqSo_NaCl" (Bakker, 2018), "Vx-Tern.exe" (Painsi et al., 2008; Akinfiev, Diamond, 2010), "ISOHOR" (Bakker, 2001), "FLINCOR" (Brown, 1989). Все исследования выполнялись на приборной базе Центра коллективного пользования многоэлементных и изотопных исследований СО РАН (г. Новосибирск).

ОБЩАЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ РАЙОНА МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Горевское месторождение располагается на площади Ангарского рудного района, в Заангарской южной части Енисейского кряжа. Енисейский кряж расположен на западной окраине Сибирского кратона, протягиваясь в субмеридиональном направлении вдоль р. Енисей почти на 700 км при ширине от 50 до 200 км. В строении Енисейского кряжа выделяются два крупных сегмента — Южно-Енисейский и Заангарский, разделенные субширотным Нижнеангарским региональным разломом (фиг. 1). К югу от этого разлома выделяются раннедокембрийский Ангаро-Канский блок, образованный канским гранулитом-гнейсовым и енисейским гнейсово-сланцевым комплексами и гранитоидами, и неопротерозойский островодужный Предивинский блок. К северу от Нижнеангарского разлома, в заангарской части, Енисейский кряж сложен палеопротерозойскими и мезо-неопротерозойскими окраинно-континентальными комплексами, составляющими Восточно-Ангарский и Центрально-Ангарский блоки. Западный (Исаковский) тектонический блок представлен неопротерозойскими офиолитами и островодужными комплексами. Все тектонические блоки разделены крупными региональными разломами — системами дизъюнктивов преимущественно северо-западного простирания с субвертикальным падением — Ишимбинским, Татарским, Приенисейским и Анкиновским (см. фиг. 1) (Бакшт и др., 1979; Vernikovskiy, Vernikovskaya, 2006). Эти глубинные разломы часто сопровождаются опеляющими структурами более высокого порядка, вблизи которых происходит коллизия более мелких блоков с образованием надвигов, что вызывает неоднородный по давлению региональный метаморфизм (Лиханов, Ревердатто, 2014).

Металлогения Енисейского кряжа определяется многочисленными месторождениями и рудопроявлениями Au, Pb, Zn, Sb, Fe, Mn. Подавляющая часть золоторудных месторождений локализована в восточной части Центрально-Ангарского блока — в пределах Панимбинского (Центрального) антиклинория, концентрируясь вблизи Ишимбинского и Татарского региональных разломов. В зоне динамического влияния последних в черносланцевых толщах раннего и среднего рифея (сухопитская серия) сосредоточена основная часть золоторудных месторождений Енисейского кряжа, представленных линейкой от жильных и жильно-прожилковых золото-кварцевых (Советское, Эльдorado, Васильевское) до прожилково-вкрапленных золото-сульфидных (Олимпиадинское, Ведугинское, Попутнинское, Боголюбовское).

В отличие от золоторудных, подавляющая часть объектов с полиметаллическим оруденением

развита в юго-западной части того же Центрально-Ангарского блока, в пределах Большепитского синклинория, в более молодых отложениях тунгусикской, киргитейской и широкинской серий поздне-рифейского возраста. Оно представлено тремя главными типами, которые отличаются по вещественному составу как руд, так и вмещающих отложений. В северо-восточной части сосредоточены преимущественно свинцово-цинковые месторождения (MVT-type) в карбонатных толщах (Морянихо-Меркурихинское рудное поле), представляющие нижний стратиграфический уровень позднего рифея (Забилов, Кириченко, 1985; Бранднер и др., 1985; Сараев, 1989). В северной и северо-западной части — свинцово-цинковые в углеродистых сланцевых толщах (SEDEX-type) (Лимонитовое, Линейное и др.) (Сердюк и др., 2021). На юге — цинково-свинцовые месторождения и рудопроявления (Горевское, Рудаковское, Картичное и др.) в углеродисто-кремнисто-карбонатных породах горевской свиты верхов позднего рифея (Сараев, 1990; Пономарев и др., 1991).

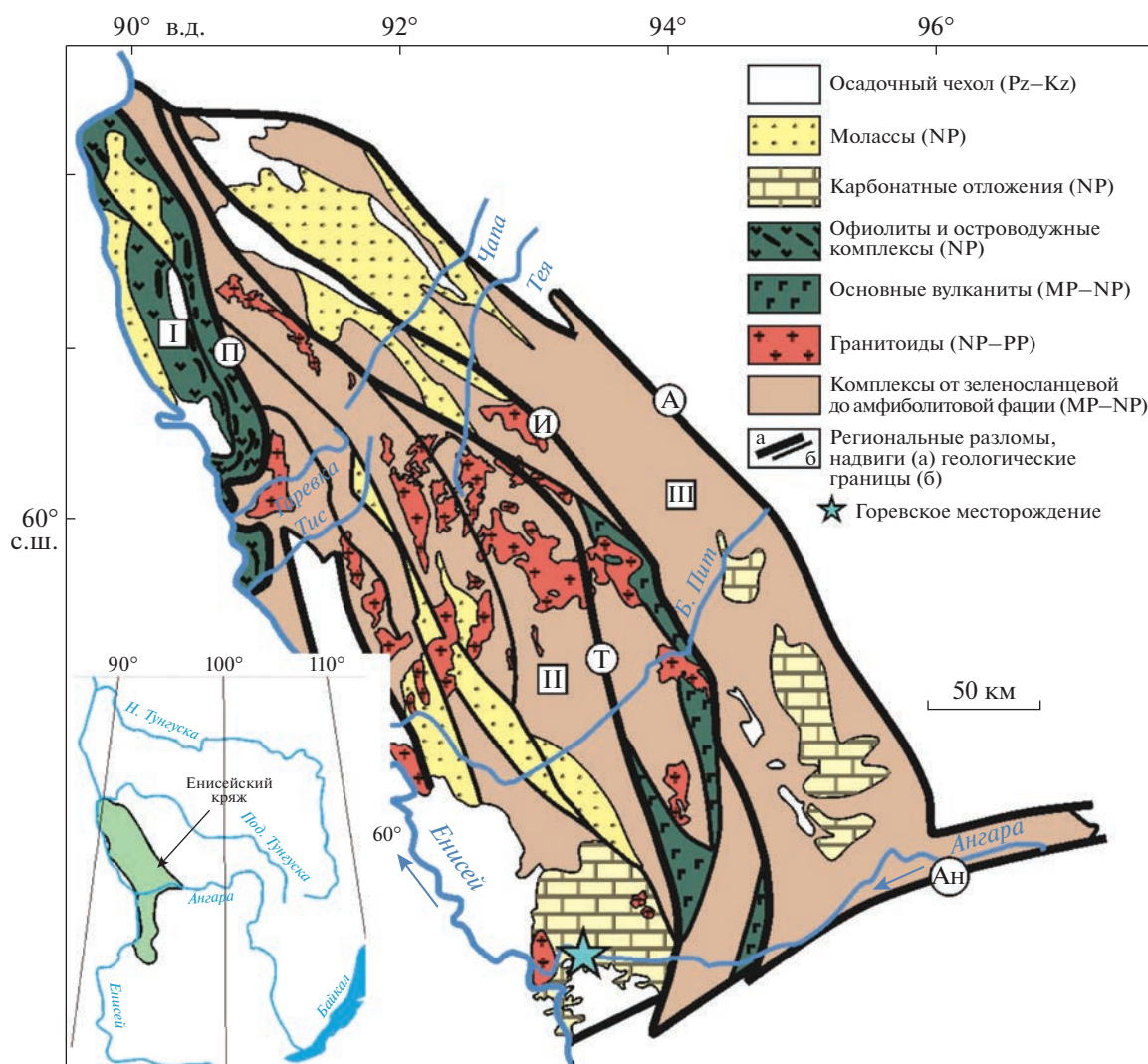
НЕКОТОРЫЕ ЧЕРТЫ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ И МИНЕРАЛИЗАЦИИ ГОРЕВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Основные черты геологического строения и характеристика оруденения Горевского рудного поля и месторождения освещены в многочисленных публикациях (Просняков, Володин, 1962; Выдрин, Груздев, 1965; Шерман, 1968; Бровков и др., 1976; Охапкин и др., 1976; Дистанов, Пономарев, 1980; Геология ..., 1985¹; Кузнецов и др., 1990; Пономарев и др., 1991). Схема геологического строения района и структурно-тектоническая позиция месторождения представлена на фиг. 2.

Стратиграфо-литологическая позиция месторождения

Полиметаллическая минерализация залегает в сложнодислоцированных и тектонически нарушенных углеродисто-терригенно-кремнисто-карбонатных породах горевской свиты общей мощностью около 2000 м. Основное оруденение приурочено к нижней части разреза. Детальное изучение литологии, текстурных и структурных признаков седиментации, обстановок отложения пород свиты и их геохимических особенностей в пределах рудного поля проведено С.В. Сараевым (1990). Палеотектоническая обстановка района представляется на начальной стадии развития как относительно глубоководный бассейн с режимом низкоскоростного, некомпенсированного осад-

¹ Геология и металлогения Енисейского рудного пояса. Красноярск, (КНИИГиМС. ПГО "Красноярск геология"), 1985ф. 291 с.

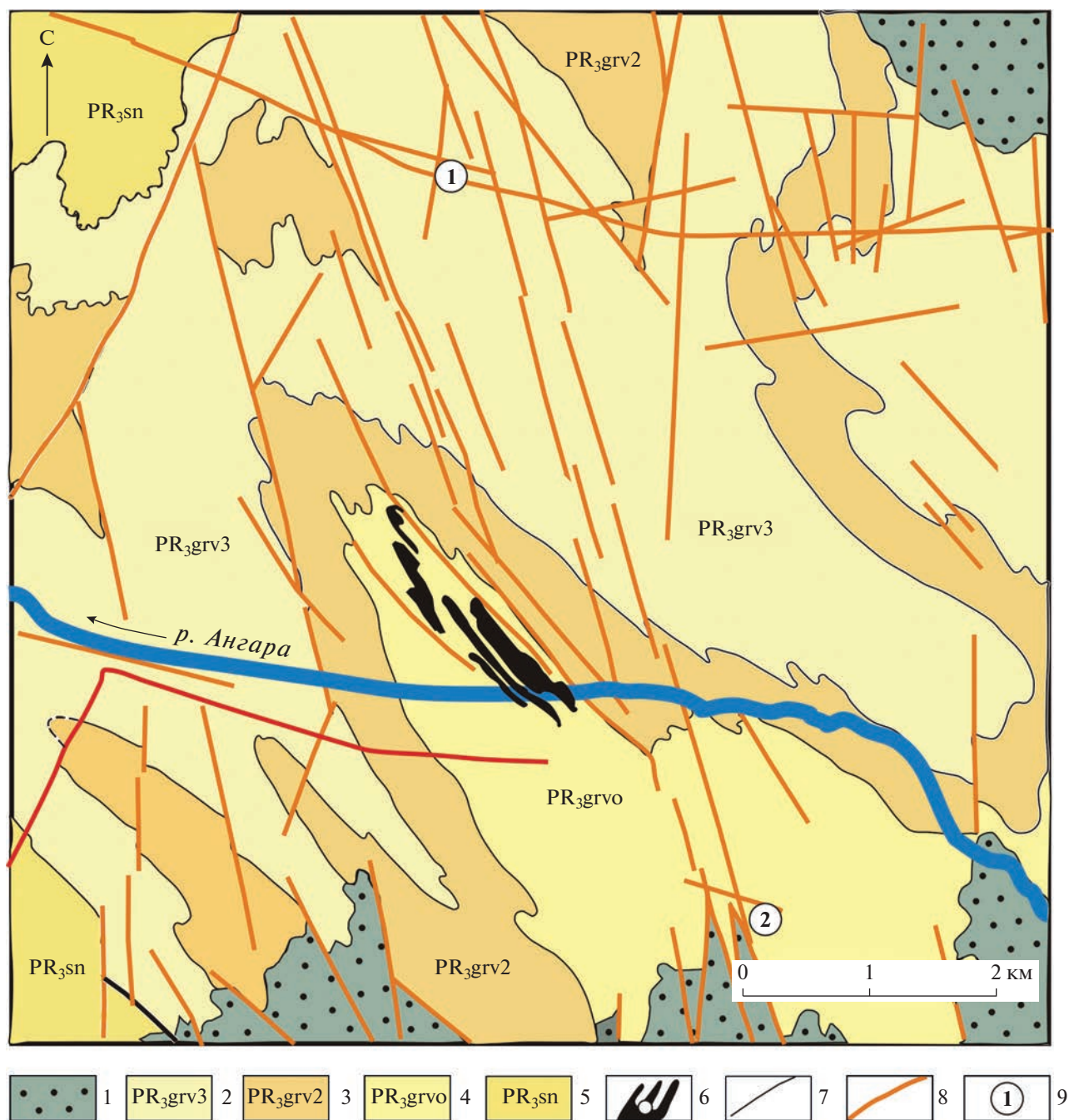


Фиг. 1. Схематическая тектоническая карта Енисейского кряжа (Kachevsky et al., 1998; Likhanov et al., 2014; Верниковский и др., 2016). Тектонические блоки: I – Исаковский, II – Центрально-Анагарский, III – Восточно-Анагарский. Региональные разломы: И – Ишимбинский, Т – Татарский, П – Приенисейский, А – Анкиновский, Ан – Анагарский. Звездочкой отмечено Горевское месторождение.

конакопления, сопровождавшегося сероводородным заражением и формированием незначительных по мощности пачек углеродсодержащих глинистых сланцев. Впоследствии нарастала скорость заполнения впадины тонкообломочными кремнисто-карбонатными и хемогенными осадками. В заключительный период основную роль начинают играть карбонатные турбидиты.

Рудовмещающие отложения на месторождении характеризуются пестрым составом: выделяются подрудные пирротинсодержащие темно-серые углеродистые глинисто-кремнисто-известковые породы, черные углеродистые глинисто-кремнисто-сидеритовые породы (рудная пачка), и надрудные слабоуглеродистые серые глинисто-кварц-карбонатные породы. Подрудная и надрудная пачки визуально слабо отличаются друг от дру-

га, представляя по сути кремнистые мергелисто-известковые отложения, с повышенной углеродистостью (С орг до 1%) в подрудной пачке. Породы характеризуются ритмично-слоистым строением, различной мощностью углеродистых сланцев, кремнистых и карбонатных прослоев. Структурные элементы отложения включают косую слоистость, градиационную сортировку тонкообломочного материала, размыв поверхностей кровли ритмов, более обломочный материал подошвы ритмов. Пачка, вмещающая рудные залежи месторождения, характеризуется преимущественно черной окраской и представлена ритмичным чередованием слоев различной насыщенности сульфидными минералами: углеродисто-кремнистыми алевропелитами, силицитами, кремнисто-сидеритовыми и существенно сидеритовыми раз-



Фиг. 2. Схема геологического строения района Горевского месторождения (по Геология ..., 1985ф, с изменениями). 1 – отложения верхнего девона, 2–4 – горевская свита верхнего рифея: 2 – верхняя пачка (известняки с прослоями известковистых кварц-серицитовых сланцев), 3 – средняя пачка (известняки с биотитом), 4 – верхняя рудовмещающая пачка (известняки, известковистые кварц-серицитовые и углеродисто-слюдистые сланцы); 5 – потоскуйская (шунтарская) свита верхнего рифея (кварц-серицитовые сланцы), 6 – рудные тела Горевского месторождения, 7 – геологические границы, 8 – разрывные нарушения, 9 – рудопроявления: Рудаковское (1), Картичное (2).

ностями. В них также отмечаются структурные элементы отложения в морском бассейне с относительно неспокойным тектоническим режимом, признаками подводно-оползневых явлений с элементами деформаций слоев. Характерны резкие фациальные переходы, неоднородность со-

става разреза на коротких расстояниях. Химический состав пород рудовмещающего разреза Горевского месторождения представлен в табл. 1. Надрудная и подрудная пачки по химическому составу достаточно близки. Для них характерна значительная кремнеземистость (18–26 мас. %).

Надрудная пачка несколько обогащена железом, марганцем и магнием. Породы рудной пачки отличаются широкими вариациями SiO_2 (до 45.26 мас. %), Fe_2O_3 (до 49.34 мас. %) и MnO (до 4.59 мас. %) за счет прослоев силицитов и сидеритов. В целом рудовмещающая часть разреза обогащена Mg, что связано с присутствием в ее составе значительного объема доломитов, при этом в рудных телах его концентрация уменьшается на фоне увеличения доли Fe и Mn (сидероплезит) (Кузнецов и др., 1991).

Магматизм

На площади Горевского месторождения, преимущественно в южной его части, широко представлен комплекс даек основного состава. Особенности их морфологии, строения, состава и взаимоотношения с оруденением рассматривались в ряде ранних работ (Просняков, Володин, 1962; Выдрин и др., 1964; Шерман, 1971; Охапкин, Бутан, 1989). Визуально породы дайкового комплекса имеют мелкокристаллическое строение, темно-зеленую до черной окраску. Среди них выделялись долериты (от оливиновых до лейкократовых разновидностей), кварцевые диабазы, лампрофитоподобные субщелочные оливиновые долериты. По петрохимическим особенностям они принадлежат к толеитовому ряду калий-натровой серии (см. табл. 1). В пространстве дайки образуют пучки и серии сближенных тел, группируясь в пределах двух протяженных полос северо-западного и северо-восточного простирания, которые контролируются зонами крупных разрывных нарушений соответственно Приангарского и Белокопытовского направлений. Возраст дайковых тел определяется как позднерифейский. Они образуют секущие и согласные со слоистостью плитообразные тела мощностью от 0.1 до 5–10 м, иногда до 20 м, по простиранию они прослежены на 100–200 м без признаков выклинивания, по падению — на 300–500 м. Насыщенность ими рудовмещающего разреза иногда достигает 10–14% (фиг. 3).

В процессе разведки было установлено, что на Горевском месторождении по отношению к оруденению существуют два типа даек — дорудные (или синрудные) и пострудные. Большинство даек отнесено к типу дорудных, так как в целом ряде мест они пересекаются сульфидными и кварц-сульфидными прожилками. Кроме того, в керне скважин установлены брекчии долеритов, обломки которых сцементированы рудами существенно галенитового состава. Пострудные дайки преимущественно развиты за пределами месторождения. Около контактов таких даек с кварц-сидеритовыми породами в последних образуется обильная сыпь зерен магнетита, а в самих дайках отмечаются прожилки анкерита. Сидеритовые

породы на контакте с долеритами становятся магнитными и изменяют свой цвет. В карьере отмечались единичные случаи пересечения Главного рудного тела дайками долеритов.

Морфология рудных залежей

Горевское месторождение с горно-геологической точки зрения представляет собой единую крупнообъемную рудную залежь (в плане 350 × 1700 м), отработка которой возможна одним карьером (фиг. 4). Внутри залежи выделяется 4 рудных тела: Главное, Западное, Маленькое и Северо-Западное. Все они линзо- и плитообразной формы, субпараллельны друг другу и имеют общее согласное с вмещающими осадочными породами северо-западное простирание (300° – 315°) и крутое падение (70° – 85°), при этом фиксируется их крутое юго-восточное склонение.

По простиранию (на флангах) и по падению (на глубину) рудные тела расщепляются, их мощности плавно снижаются вплоть до полного выклинивания. Границы рудных тел с вмещающими породами резкие и отчетливо отбиваются по содержанию в рудах свинца и цинка более 1%. Изредка наблюдаются маломощные ореолы бедных свинцово-цинковых руд с содержанием свинца и цинка менее 1% (Шерман, 1968). По отношению к вмещающей терригенно-кремнисто-карбонатной толще рудные тела субконформны и в целом вписываются в ее слоистое строение (Бровков и др., 1976, Кузнецов и др., 1990). Это подчеркивается их субпараллельным взаиморасположением и позволяет говорить об их стратифицированном характере.

Контуры рудных тел во многом сходны (см. фиг. 4), особенно это относится к Западному и Главному рудным телам, южные части которых полностью конгруэнтны, с той лишь разницей, что длина Западного по падению значительно меньше, чем у Главного. Линии наибольших мощностей рудных тел во многом совпадают с их осевыми линиями; наиболее ярко это проявляется у Главного и Северо-Западного рудных тел.

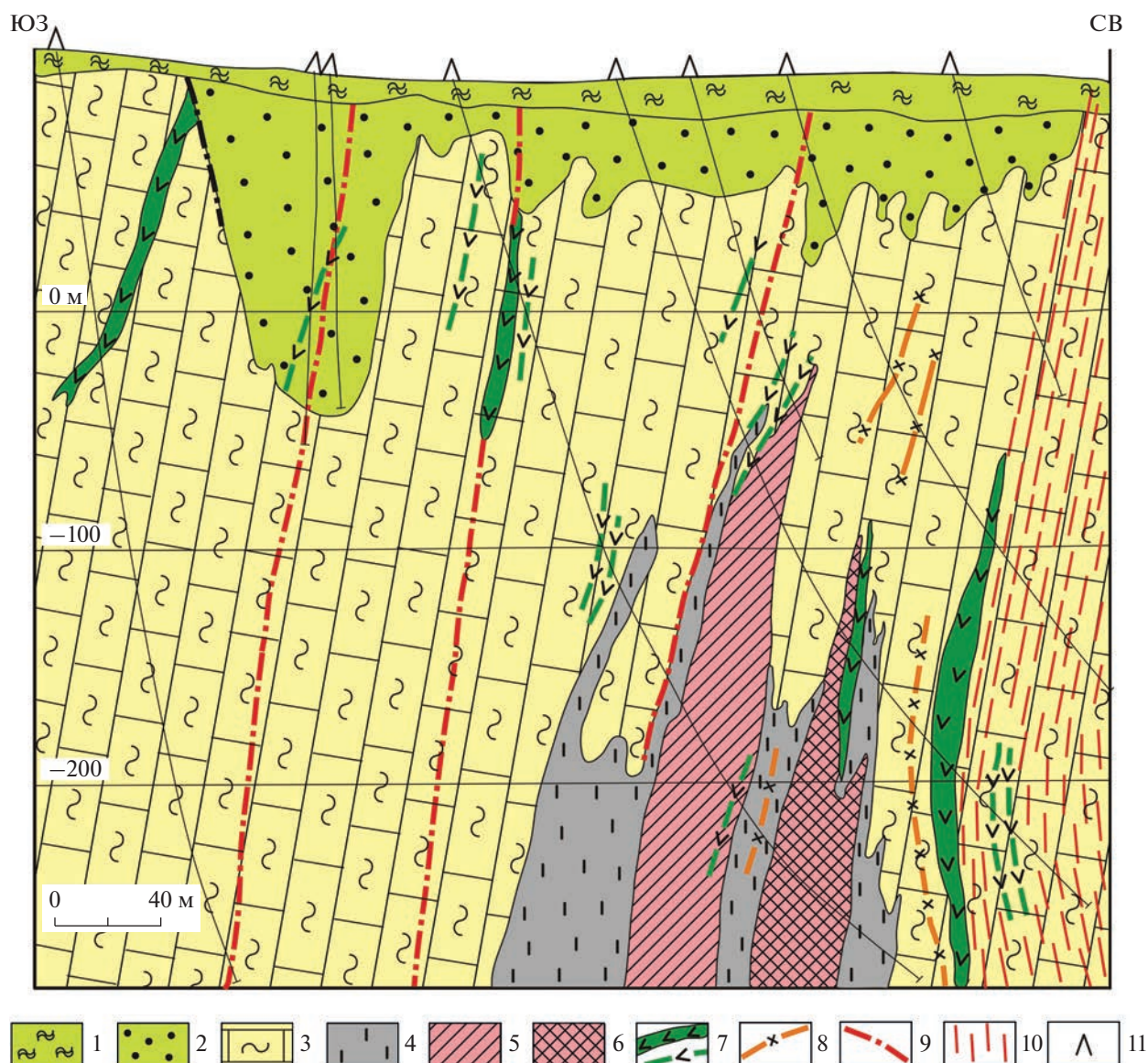
Размеры рудных тел довольно сильно разнятся, при этом самые большие параметры имеет Главное рудное тело, вмещающее “львиную долю” запасов месторождения (табл. 2). Все рудные тела месторождения имеют сложное внутреннее строение. Каждое из них представляет собой серию сближенных линзовидных залежей, разделенных слабо оруденелыми или пустыми породами (полосчатыми сидеритами и силицитами) мощностью до 2–6 м. Породы часто будинированы и раздроблены, местами наблюдается складчатость разной интенсивности и размерности.

Результаты опробования большого объема эксплуатационных скважин, пробуренных в дей-

Таблица 1. Химический состав пород рудной зоны Горевского месторождения, мас. %.

№ п/п	Образец	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	BaO	SO ₃	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	NiO	П.п.п	Сумма
Надрудные отложения																		
1	K-5/2	17.50	0.22	4.29	2.12	0.13	1.47	39.44	0.06	1.22	0.09	0.02	1.78	<0.01	<0.01	<0.01	31.54	99.87
2	2019/1	27.45	0.36	7.03	2.64	0.08	3.19	28.11	0.14	2.05	0.11	0.05	1.16	<0.01	<0.01	<0.01	26.95	99.32
3	19/86	47.92	0.25	5.42	1.61	0.06	2.44	20.39	0.07	1.70	0.09	0.03	0.41	<0.01	<0.01	<0.01	19.23	99.61
4	19/127	17.41	0.16	3.49	3.78	0.24	1.36	38.25	0.06	0.98	0.09	0.04	3.83	<0.01	<0.01	<0.01	30.32	100.00
5	2019/210	19.00	0.19	3.95	4.33	0.28	1.52	43.34	<0.05	1.10	0.10	0.05	4.16	<0.01	<0.01	<0.01	21.19	99.18
	Среднее	25.86	0.24	4.84	2.89	0.16	2.00	33.90	0.08	1.41	0.10	0.04	2.27	<0.01	<0.01	<0.01	25.85	99.60
Отложения рудоносной ассоциации																		
6	K-5	32.57	0.18	3.64	37.78	3.52	2.58	0.58	0.04	0.99	0.07	0.10	0.11	0.01	0.01	<0.01	17.85	100.04
7	K-6	39.59	0.47	8.75	31.91	2.58	2.02	0.68	0.22	2.27	0.20	0.08	0.15	0.02	0.01	<0.01	10.85	99.82
8	K-15	17.98	0.07	1.18	47.36	3.37	2.98	1.06	0.20	0.17	0.07	0.02	1.07	0.01	0.01	-0.01	24.93	100.47
9	K-2/84	30.36	0.14	2.28	38.38	3.09	2.53	0.62	0.06	0.56	0.04	0.03	0.30	0.01	0.01	<0.01	20.73	99.13
10	029\173	9.71	0.15	2.82	49.34	5.11	2.44	0.97	0.24	0.69	0.11	0.44	0.79	0.01	0.01	-0.01	27.40	100.22
11	029\174	13.52	0.18	2.86	47.06	4.59	2.39	1.01	0.23	0.67	0.14	0.45	0.68	0.02	0.01	-0.01	26.21	99.99
12	031\54	45.26	0.37	6.62	26.97	3.67	2.33	0.64	0.81	2.03	0.15	0.67	0.23	0.02	0.01	0.00	10.14	99.92
13	2019/2	14.06	0.19	3.40	47.58	4.42	3.84	0.73	0.06	1.05	0.06	0.04	0.20	0.01	0.01	<0.01	24.13	99.76
14	16/217(1)	41.42	0.63	10.44	30.65	2.69	2.54	0.84	0.16	2.80	0.16	0.10	0.14	0.02	0.02	<0.01	7.37	99.97
15	19/170	36.38	0.13	1.74	36.31	2.93	1.91	0.53	<0.05	0.46	0.05	0.04	0.34	0.01	0.08	<0.01	18.95	99.89
16	2019/3	13.51	0.03	0.61	48.69	4.02	3.76	1.24	0.06	0.09	0.05	0.02	1.22	0.01	0.01	<0.01	26.71	100.02
17	2011A/465	7.66	0.18	2.72	30.39	2.55	3.04	18.48	0.07	0.23	0.09	2.68	2.05	0.01	<0.01	<0.01	29.93	100.07
	Среднее	25.17	0.23	3.92	39.37	3.55	2.70	2.28	0.20	1.00	0.10	0.39	0.61	0.01	0.02	<0.01	20.43	99.94
Подрудные отложения																		
18	K-11	21.11	0.28	5.55	2.34	0.28	12.60	22.57	0.13	1.43	0.11	0.06	0.69	0.01	<0.01	<0.01	32.17	99.34
19	K-12	21.52	0.16	2.84	11.59	0.74	9.30	20.19	0.04	0.81	0.09	0.00	4.07	0.00	<0.01	<0.01	28.65	100.00
20	19/456	24.33	0.31	5.75	3.24	0.14	6.78	26.86	0.08	1.72	0.10	0.05	0.42	<0.01	<0.01	<0.01	29.73	99.50
21	19/518	15.18	0.22	4.31	1.81	0.08	2.33	39.84	<0.05	1.31	0.07	0.03	0.38	<0.01	<0.01	<0.01	34.10	99.70
22	19/564	16.44	0.19	3.62	2.86	0.15	6.16	33.76	0.05	1.06	0.09	0.08	0.78	<0.01	<0.01	<0.01	34.06	99.32
23	19/638	14.75	0.25	4.44	3.38	0.30	5.35	35.14	0.15	0.85	0.10	0.00	0.20	<0.01	<0.01	<0.01	34.52	99.43
24	2019/4	11.96	0.12	1.87	24.83	2.60	6.45	22.32	0.28	0.05	0.04	0.01	4.58	<0.01	<0.01	<0.01	24.35	99.46
	Среднее	17.90	0.22	4.05	7.15	0.61	7.00	28.67	0.12	1.03	0.09	0.03	1.59	<0.01	<0.01	<0.01	31.08	99.54
Дайковые породы																		
25	215/499	45.16	1.15	14.68	11.46	0.17	9.15	9.71	2.30	0.95	0.14	0.03	0.19	0.03	0.07	0.02	4.60	99.79
26	2011/945	47.47	0.83	14.60	11.28	0.13	10.58	8.42	1.75	0.55	0.08	0.04	0.15	0.03	0.14	0.03	3.46	99.53
27	427/1083	40.84	0.97	13.49	13.29	0.18	14.56	4.26	1.69	0.77	0.12	0.08	0.32	0.05	0.9	0.03	8.54	99.24
	Среднее	44.49	0.98	14.26	12.01	0.16	11.43	7.46	1.91	0.76	0.11	0.05	0.22	0.04	0.37	0.03	5.53	99.52

Примечание. 1–5 – серые слоистые слабоуглеродистые глинисто-кремнисто-известковые пирротинсодержащие породы; 6–17 – слоистые углеродистые кремнисто-сидеритовые породы и пирротинсодержащие углеродистые сланцы. 18–24 – серые слоистые глинисто-кремнисто-известковые пирротинсодержащие породы. Анализы выполнены ретгенофлуоресцентным методом Н.Г. Кармановой (ИГМ СО РАН). К – карьер, номер образца, 19/86 – номер скважины/глубина (м).



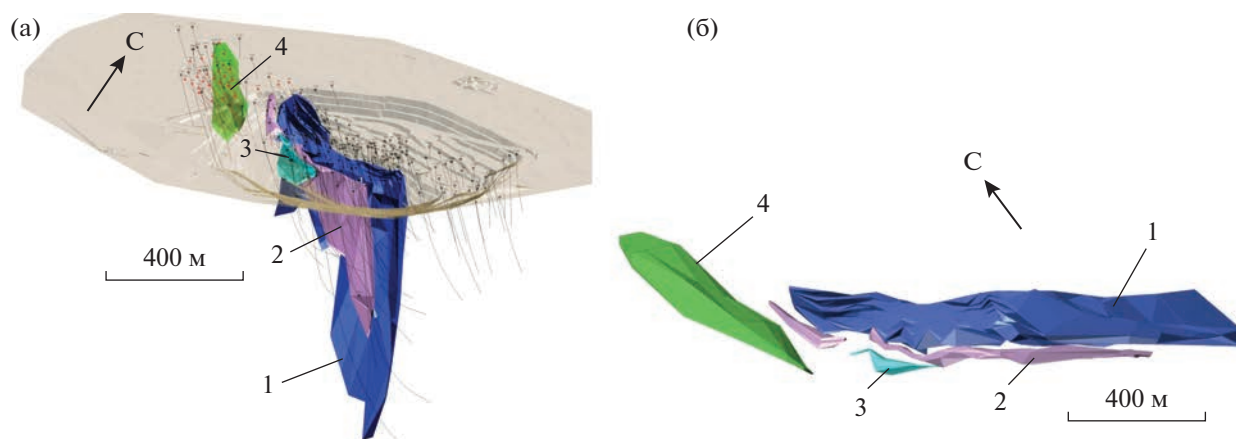
Фиг. 3. Положение дайковых тел долеритов в рудовмещающем разрезе в южной части Горевского месторождения (фрагмент геологического разреза по линии 5.0) (Геология..., 1985ф). 1 – четвертичные отложения; 2 – зона выветривания (лимонитизированные пористые породы); 3 – отложения рудовмещающей пачки горевской свиты (пирротин-содержащие серые кремнисто-глинисто-известковые породы); 4 – черные углеродисто-слоистые кремнисто-сидеритовые породы; 5–6 – руды Главного рудного тела: 5 – пирротин-галенитовые; 6 – пирротин-сфалерит-галенитовые; 7 – дайки основного состава, 8 – дайки среднего состава; 9 – зоны расланцевания; 10 – зоны дробления; 11 – разведочные скважины.

ствующем карьере по сети 4×4 м, позволили уточнить не только общую морфологию рудных залежей, их положение в пространстве и взаимоотношения между собой, но и выявили принципиально важные детали их внутреннего строения. Отчетливо проявился полосчато-послойный характер распределения основных рудных элементов в пределах подавляющей части рудных тел, что, учитывая слоистое строение рудовмещающей осадочной толщи, свидетельствует в пользу их синседиментационной природы. В то же время

в распределении высоких содержаний Рb (10% и выше) в Главном рудном теле выявился их явный линейно-узловой характер.

Минералого-геохимические особенности

Вопросы минералогии и геохимические особенности пород и руд Горевского месторождения детально рассмотрены во многих работах (Просняков, Володин, 1962; Выдрин, Груздев, 1965; Груздев и др., 1967; Вершковская и др., 1970; Пономарев и



Фиг. 4. Линзо- и плитообразная морфология рудных тел Горевского месторождения. 3D-модель с траекториями разведочных скважин и карьером (а). Горизонтальная проекция, план (б). Рудные тела: 1 — Главное, 2 — Западное, 3 — Маленькое, 4 — Северо-Западное.

др., 1976, 1984; Акимцев, 1992). Минеральный состав руд Горевского месторождения достаточно прост (табл. 3).

Руды месторождения представлены труднообогатимыми мелко- и тонкозернистыми сростаниями галенита, сфалерита, пирротина и нерудных минералов. Количество сульфидов в рудах составляет 20–25%, достигая на небольших участках 50–70%. Характерно преобладание галенита над сфалеритом, пирротина над пиритом при почти полном отсутствии минералов меди (содержание меди в руде 0.001–0.01%).

По данным разведочных работ (Шерман и др., 1963ф²), на Горевском месторождении отмечается уменьшение содержаний свинца и серебра от лежащего бока к висячему, при одновременном увеличении содержаний цинка и кадмия. Свинцовые руды сосредоточены в лежащем боку Главного рудного тела, по направлению к висячему боку они сменяются цинково-свинцовыми и далее — свинцово-цинковыми в висячем его боку, Западном, Маленьком и Северо-Западном телах. Соответствующая минералогическая зональность выражается в последовательной смене от лежащего бока к висячему пирротин-галенитовых руд сфалерит-пирротин-галенитовыми, а затем галенит-сфалерит-пирротин-галенитовыми. Самый верхний стратиграфический уровень занимают существенно пирротин-галенитовые тела (до 50–60% от общей массы) с непромышленными содержаниями Pb и Zn.

К типоморфным особенностям наиболее распространенных рудных минералов месторожде-

ния относятся следующие. Сфалерит имеет умеренную железистость — содержание Fe в нем варьирует от 5.7 до 9.8 вес. %. В отдельных образцах присутствует Mn (до 0.4 вес. %) и Cd (до 0.4 вес. %). Пирротин является одним из распространенных минералов пород и руд месторождения и представлен моноклинной разновидностью при среднем содержании: Fe — 60.54 и S — 40.62 мас. %. Морфологически он представлен вкрапленной, гнездовой и прожилковой минерализацией разных генераций и характеризуется тесными субграфическими сростаниями с галенитом и сфалеритом. Часто по нему развивается марказит. По данным LA-ICP-MS анализа, в галените определены серебро (500–1000 г/т) и сурьма (1000–1400 г/т). Другим значимым минералом на месторождении является магнетит, представленный как продуктом динамометаморфических преобразований во вмещающих гранат-хлорит-слюдистых сланцах, так и продуктом термальных преобразований сидерита. В рудовмещающих породах широко развита вкрапленность гелицитовых кристаллов ильменита с повышенным содержанием MnO (до 3.7 мас. %). Среди редко встречающихся (менее 1%) рудных минералов установлены сульфоарсениды, арсениды, антимониды, сульфоантимониды, блеклая руда, Pb–Fe–Cu-сульфосоли, группа серебросодержащих минералов и самородное серебро.

Руды на 60–80% сложены кварцем и сидеритом, реже другими карбонатами и алюмосиликатами. Главными типоморфными особенностями этих минералов является высокая железистость и марганцовистость. Фактически Горевское месторождение, помимо полиметаллов, является еще и крупным природным скоплением железа — среднее по месторождению содержание железа карбонатного — 31.16% (Шерман и др., 1963ф). Средняя марганцовистость сидеритов составляет 4.75 мас. % при максимальных значениях 13.53 мас. %. Алю-

² Шерман М.Л., Стеблева А.Т., Загоруйко И.Н. Горевское месторождение свинцово-цинковых руд в Енисейском крае. Объяснительная записка к подсчету запасов по состоянию на 01.10.1963 г. ФГУНПП "Росгеолфонд" по Красноярскому краю, 1963ф.

Таблица 2. Геометрические параметры рудных тел Горевского месторождения

Рудное тело	Протяженность, м		Мощность, м	
	по простиранию	по падению	от	до
Главное	980	1000	20–30	260
Западное	1000	550	10–20	30
Маленькое	370	160	4–15	43
Северо-Западное	840	270	25	115

Таблица 3. Минеральный состав руд Горевского месторождения

Главные	Второстепенные	Редкие
Рудные минералы		
Галенит	Марказит	Халькопирит
Сфалерит	Магнетит	Брейтгауптит NiSb
Пирротин	Арсенопирит	Леллингит FeAs ₂
Пирит	Ильменит	Ульманнит NiSbS
		Виллиамит (CoNi)SbS
		Гудмундит FeSbS
		Буланжерит Pb ₅ Sb ₄ S ₁₁
		Бурнонит PbCuSbS ₃
		Бертьерит FeSb ₂ S ₄
		Джемсонит Pb ₄ FeSb ₆ S ₁₄
		Теннантит (CuFe) ₁₂ As ₄ S ₁₃
		Пиростильпнит Ag ₃ SbS ₃
		Пираргирит Ag ₃ SbS ₃
		Прустит Ag ₃ AsS ₃
		Аргентит (акантит) Ag ₂ S
		Дискразит Ag ₃ Sb
		Штернбергит AgFe ₂ S ₃
		Самородное серебро
Нерудные минералы		
Сидерит	Альбит	Монацит
Доломит	Калиевый полевой шпат	Ксенотим
Кальцит	Цельзиан	Рабдофан
Кварц	Гиаллофан	Ганит
Грюнерит	Эллахерит	
Альмандин-спессартин	Fe–Ba-содержащие слюды)	
Хлорит (шамозит-тюрингит)		
Бiotит(стильпноделан)		
Мусковит		

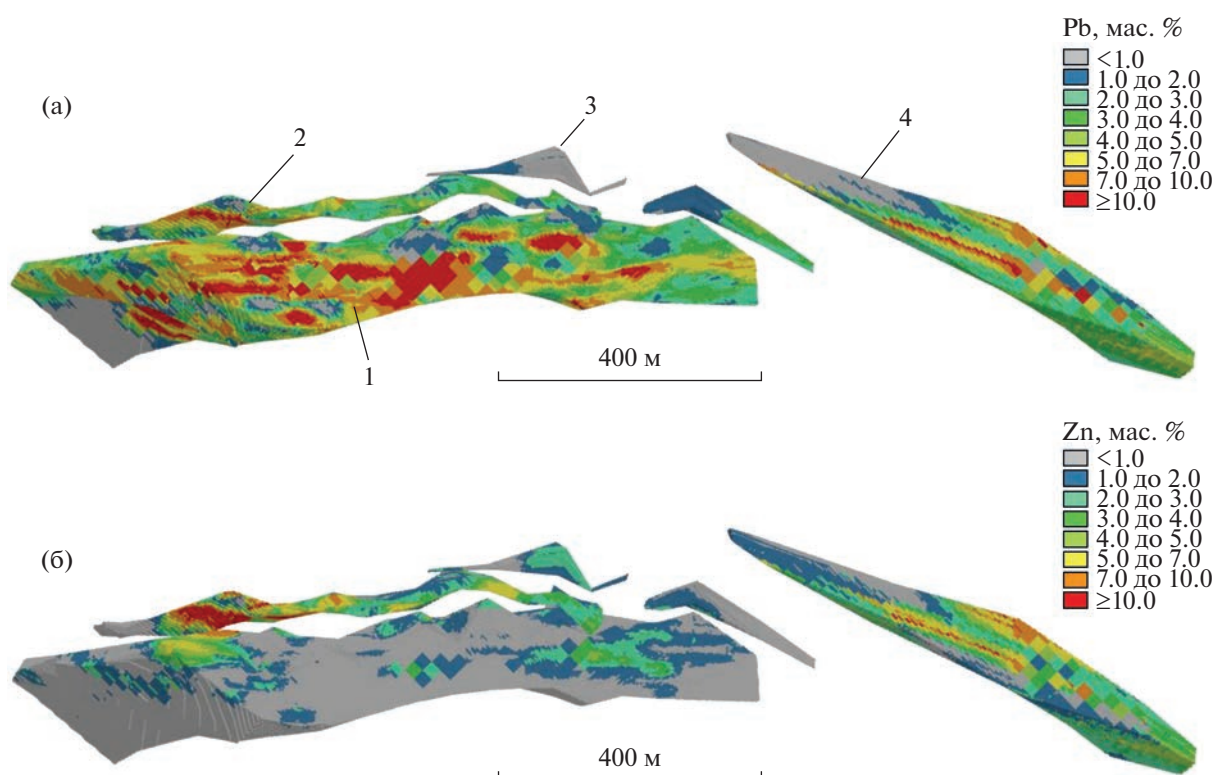
мосиликатные минералы представлены розовым гранатом альмандин-спессартинового ряда, Fe-амфиболом (грюнерит), Fe-хлоритом (шамозит-тюрингит) и биотитом (лепидомелан) (табл. 4). В рудных ассоциациях встречается парагенезис Ba-содержащих минералов: цельзиан, эллахерит, гиаллофан, мусковит и Fe-Ba-слюды.

Содержание Ag в рудах (от 23 до 76.5 г/т) прямо пропорционально концентрации свинца, а концентрации Cd (до 710 г/т) прямо пропорциональны содержанию в рудах цинка. По данным атомно-абсорбционного анализа, содержания золота в 4 образцах массивных сфалерит-галенитовых руд составляют: 0.052, 0.0058, 0.0048, 0.024 г/т, се-

Таблица 4. Химический состав нерудных минералов Горевского месторождения, мас. %.

№ п/п	№ обр.	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	BaO	Cr ₂ O ₃	ZnO	Сумма
1	048/205	49.22	0.01	0.36	42.21	3.53	2.69	0.15	0.07	0.00	0.00	0.03		98.27
2	048/206	49.84	0.00	0.17	40.74	3.39	4.05	0.12	0.08	0.00	0.00	0.00		98.40
3	048/207	49.49	0.01	0.32	40.36	4.33	3.51	0.15	0.06	0.00	0.00	0.00		98.23
4	048/212.5	49.79	0.02	0.38	40.55	2.80	4.59	0.14	0.06	0.00	0.02	0.01		98.36
5	420/313	50.40	0.00		39.79	1.85	6.47			0.11				98.62
6	427/460	51.34		0.60	30.94	6.20	9.49							98.57
7	24/80	52.50			31.80	1.30	12.17	0.98						98.75
8	К-1	23.02		20.94	38.23	0.49	5.36							88.04
9	К-5	22.38		20.56	41.64	0.32	3.81							88.71
10	К-5/2	22.53		20.18	41.85		3.40							87.96
11	К-6	22.10		21.05	42.07	0.40	3.27							88.89
12	К-8	23.24	0.12	20.89	35.96	0.36	7.52	0.00	0.04	0.01	0.03	0.04		88.23
13	К-24/80	25.93		18.57	30.57	0.30	13.30	0.25						88.92
14	427/1300	25.35		18.35	34.58		7.53						1.43	87.24
15	029/182	45.11	0.01	5.83	31.23	0.54	4.41	0.05	0.00	0.57	3.02	0.00		90.77
16	048/206	45.07	0.02	5.98	33.37	1.40	3.06	0.06	0.07	0.92	3.31	0.00		93.24
17	048/207	45.53	0.00	5.83	31.50	1.61	4.30	0.05	0.04	0.80	3.56	0.00		93.22
18	048/212.5	45.40	0.01	6.39	34.12	1.05	2.75	0.07	0.07	0.81	2.43	0.00		93.08
19	215/315	42.30		5.93	33.62		2.45			2.43	1.25			87.98
20	К-5	33.69	0.80	18.16	31.15		2.97			8.93			0.62	96.32
21	К-5/3	32.84	0.83	18.12	31.34		2.84			8.02			1.88	95.87
22	К-6	33.57	1.57	17.21	33.83		3.86			7.11				97.15
23	16/217	32.84	3.05	16.38	30.85	0.35	3.38			8.71				95.56
24	63/190	33.65	1.53	16.44	30.90		5.01			8.13				95.66
25	048/205	31.08	2.92	13.53	29.46		4.46			7.50	4.25			93.20
26	048/212.5	34.23	1.24	14.45	31.64	0.38	4.87	0.00	0.03	8.57	1.35	0.01		96.77
27	К-5/3	44.71	0.53	31.54	3.13		1.79			10.23	2.40			94.33
28	К-8	47.71		30.38	3.11		2.14			10.89				94.23
29	427/1094	48.78		25.15	9.92	0.28	2.19			10.33			1.39	98.04
31	029/147.2	40.52	1.28	29.87	0.81		1.79			8.43	6.19			88.89
32	029/168	42.64		31.27	3.32		0.96			9.61	3.70			91.50
33	029/147.2	49.10		21.75					0.71	8.30	18.30			98.16
34	029/182	36.03	0.08	26.31	0.28	0.00	0.02	0.02	0.27	2.01	33.32	0.00		98.34
35	048/205	37.23		25.20						2.51	33.69			98.63

Примечание. 1–7 – грюнерит; 8–14 – хлорит (тюрингит–шамозит); 15–19 – Fe–Ba-слюды; 20–26 – биотит (лепидомелан); 27–30 – мусковит; 31–32 – эллахерит; 33 – гиаллофан; 34–35 – цельзиан. Анализы выполнены на сканирующих электронных микроскопах JSM-6510LV, TESCAN MIRA 3LMU и рентгеноспектральном микроанализаторе JEOL JXA-800. Аналитики: В.Н. Королюк, Н.С. Карманов, А.Т. Титов, М.В. Хлестов



Фиг. 5. Распределение свинца и цинка в пределах рудных залежей на горизонте 0 м. Цветом показано содержание Pb (а) и Zn (б) в рудных телах: 1 – Главное, 2 – Западное, 3 – Маленькое, 4 – Северо-Западное.

ребра – 92, 101, 109, 151 г/т. По данным технологического опробования, в рудах присутствуют: германий (8–19 г/т), таллий (4–14 г/т), галлий (до 10 г/т), молибден (0.001–0.009%), висмут (0.005%), медь (до 0.088%), цирконий (до 0.006%), литий (0.003%), олово (0.001%), сурьма (до 0.1%) (Макаров и др., 2014ф³). Встречаются аномальные значения фосфора (до 1460 г/т), иногда ртути (до 227 г/т). Отмечаются повышенные содержания титана (до 0.2%) и ванадия (до 270 г/т), но обедненность руд редкими элементами.

Одна из главных особенностей Горевского месторождения выражается в существенном преобладании Pb над Zn (3 : 1). Анализ соотношения металлов в подсчетных блоках выявил, что очевидная причина такой особенности связана с Главным рудным телом, вмещающем более 70% запасов руды всего месторождения, в котором этот показатель составляет 7 : 1. Более того, если взять только чисто свинцовые руды Главного рудного тела, то соотношение Pb : Zn становится еще более контрастным – 20 : 1 (!). Причем это связано не только с увеличением среднего содержания Pb в таких рудах, но и с резким (почти в 10 раз)

уменьшением количества цинка. В других рудных телах соотношение Pb и Zn примерно равное или в пользу цинка, что является обычным для подобного типа месторождений (Leach et al., 2005; Goodfellow, Lydon, 2007).

Основное количество цинка сосредоточено в Северо-Западном рудном теле (48.7%), где доля свинцово-цинковых руд составляет около 87%. В целом же при 29.1% запасов руды, сосредоточенных в Западном, Северо-Западном и Маленьком рудных телах, в них содержится 65.9% общих по месторождению запасов цинка.

Аномальность по свинцу Главного рудного тела отмечали практически все исследователи месторождения. Она отражалась в виде зональности (Шерман и др., 1963ф), согласно которой свинцовые руды сосредоточены в лежащем боку Главного рудного тела, а свинцово-цинковые – в висячем его боку, Западном, Маленьком и Северо-Западном телах. В отличие от свинцово-цинковых руд (Западное и Северо-Западное рудные тела), в рудах существенно свинцового состава, которые развиты в пределах Главного рудного тела, отсутствует пространственная связь между Pb и Zn (фиг. 5).

В распределении свинца просматривается двойственный характер. С одной стороны, на низких содержаниях он образует совместно с

³ Макаров В.А., Косолапов А.И., Макеев С.М. Отчет по переоценке запасов Горевского месторождения в связи с пересмотром кондиций. ФГУНПП “Росгеолфонд” по Красноярскому краю, 2014ф.

цинком линейно вытянутые тела, согласные с общим слоистым залеганием вмещающих пород. Они соответствуют Западному, Северо-Западному, отчасти Маленькому рудным телам и висячему боку Главного рудного тела. Руды в них ритмично-полосчатые и относятся к свинцово-цинковому типу с соотношением $Pb : Zn$, варьирующим в среднем от 1 : 1 до 1 : 3 в пользу цинка.

С другой стороны, на “высоких содержаниях” (более 10%) свинец ведет себя обособленно, образуя участки существенно свинцовых руд с аномально высоким соотношением $Pb : Zn$ — от 5 : 1 до 20 : 1. Такие богатые руды, содержащие в среднем около 15% свинца, слагающие около 13% запасов месторождения, обособливаются в виде крупных тел “сливных” руд, часто с брекчиевой текстурой. Практически все они локализуются в лежащем боку Главного рудного тела, образуя несколько столбообразных, вытянутых по его падению и имеющих юго-восточное склонение, участков. Аналогичное положение богатых существенно свинцовых руд в лежащем боку залежи выявлено в ходе доразведочных работ, проведенных в пределах Северо-Западного рудного тела в 2017–2019 гг.

Оба типа руд четко разделяются не только по литологическим и структурно-текстурным признакам, но и по вещественному составу. Кроме аномально высокого соотношения $Pb : Zn$ (до $n \times 10$ в свинцовых, на среднем фоне 1–1.5 в свинцово-цинковых), существенно свинцовые руды выделяются высоким содержанием Ag (что естественно, учитывая их галенитовый состав), а также резко пониженными (иногда на порядок) содержаниями Fe , Mg и Mn . Последние три элемента являются естественными производными процесса седиментации, поэтому вполне закономерно их присутствие в составе гидротермально-осадочных слоисто-полосчатых свинцово-цинковых руд. На фоне этого пониженное количество вышеупомянутой триады элементов в существенно свинцовых рудах может свидетельствовать о различных условиях формирования этих двух типов оруденения.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Руды Горевского месторождения по структурно-текстурным особенностям подразделяются на четыре основных технологических типа — вкрапленные, массивные, полосчатые и брекчиевые (табл. 5), по минеральному составу — на галенитовые, галенит-сфалеритовые и сфалеритовые. Характеристика текстурно-минеральных типов руд для целей промышленной сепарации ранее была рассмотрена в работе Э.Г. Дистанова с соавторами (1980). Такая классификация руд с генетической точки зрения не полностью отражает все разнообразие геологических процессов. Нами они рассмат-

риваются от ранних стадий формирования руд до поэтапного их преобразования на стадиях катагенеза, тектогенеза и проявления постмагматической и гидротермальной активности.

Текстурно-минеральные типы руд с признаками гидротермально-осадочного рудоотложения

Рудовмещающие породы горевской свиты месторождения, как и все поздневерхнерифейские отложения региона, претерпели региональный метаморфизма не выше начальной субфации зеленосланцевой фации (Мирошников, 1976; Балицкий, 1982). Породы подрудной, рудной и надрудной пачек в условиях катагенеза и динамометаморфизма сохранили основные текстурные и многие структурные признаки флишеидного осадконакопления, имеют слоистое и ритмично-слоистое строение, сохраняют структурные элементы, отражающие относительно спокойную сейсмоструктурную обстановку в период рудоотложения. Породы характеризуются тонкослоистым, неравномерно-слоистым и ритмично-слоистым строением, что проявляется в чередовании пирротинсодержащих углеродисто-слюдистых, глинисто-известковистых, кремнистых и сидеритовых прослоев (фиг. 6). В них сохраняются структурные признаки градиационной сортировки тонкообломочного, алевропелитового и песчанистого, реже среднеобломочного терригенного кварц-карбонатного материала, косослоистости, размыва поверхностей, скучивания или смещения отдельных прослоев еще слабо литифицированных отложений. Отмечаются локальные признаки перемещения вещества в трещины кливажа. Основной минеральный состав их представлен кварцем, карбонатами, хлоритом, мусковитом, апатитом, графитом, турмалином, пирротинном и ильменитом.

Породы рудовмещающей пачки отличаются повышенной углеродистостью, и преобладающим развитием кремнистых, кремнисто-сидеритовых и сидеритовых прослоев. Распределение оруденения в пластовых рудных телах носит дискретный характер, представляя чередование прослоев с вкрапленной или массивной сульфидной минерализацией мощностью от десятков мм до десятков см с нерудными прослоями (“слоеный пирог”). Основная масса руд месторождения имеет достаточно однотипное строение, которое прослеживается как по мощности пластовых рудных тел, так и по их простиранию. Среди них выделяются галенит-кремнисто-сидеритовые, галенит-сфалерит-кремнисто-сидеритовые, пирротин-кремнисто-сидеритовые минеральные разности руд. Характерна ритмичность отложения рудного материала в ритмично построенных пачках. Обычно ритмы имеют двух-, трехчленное строение. К основанию ритмов приурочен кварц-сульфидный материал, к средней части — существенно

Таблица 5. Текстурно-минеральные типы руд Горевского месторождения

Процессы	Текстурно-структурные типы	Минеральные ассоциации
Гидротермально-осадочный (диагенез—катагенез)	Слоистые, ритмично-слоистые, градационно-слоистые, косослоистые, размыва поверхности, вкрапленные . Пелитоморфные, петельчатые, тонкозернистые, реликтовые коллоидно-морфно-глобулярные	Пирротин—кварц—сидерит. Пирротин—сфалерит—кварц—сидерит. Пирротин—галенит—кварц—сидерит
Региональный метаморфизм	Слоистые, ритмично-слоистые	Углерод—хлорит—серицит—мусковит—кварц—карбонаты—турмалин—пирит—ильменит. Графит—гранат—хлорит. Магнетит—хлорит—сидерит.
Динамотермальный метаморфизм приразломных зон и зон расщеливания	Изоклинальные мезо- и микро-складки, плейчатые, вязких разрывов по кливажу, будинажа, “пластических” брекчий, шариковые, полосчатые, гнейсовидно-полосчатые . Кристаллически-зернистые, грано- и лепидобластовые, порфиробластовые, субграфические, очковые	Гранат—биотит—хлорит—кварц—карбонаты. Сульфоарсениды—арсениды—антимониды. Сульфоантимониды—блеклые руды—Pb—Fe—Cu—сульфосоли—группа серебросодержащих минералов—самородное серебро—кварц—анкерит—доломит. Ганит—гранат—сфалерит—кварц—кальцит
Гидротермальный метасоматоз вблизи зон разломов в лежащем боку Главного и Северо-Западного рудных тел	Массивные (сахаровидные), брекчиевые , прожилковые, гнездовые. Кристаллически-зернистые, крупнозернистые	Пирротин—галенит
Контактово-термальный (скарнирование)	Порфиново-вкрапленные, порфиново-полосчатые, бурундучные, массивные, пятнистые. Кристаллически-зернистые.	Магнетит—гранат—грюнерит—хлорит—биотит—альбит—калиевой полевой шпат—эллахерит—гиаллофан—цельзиан—Ba-слюды—кварц—карбонаты, апатит. Пирит—магнетит—кварц—карбонаты.

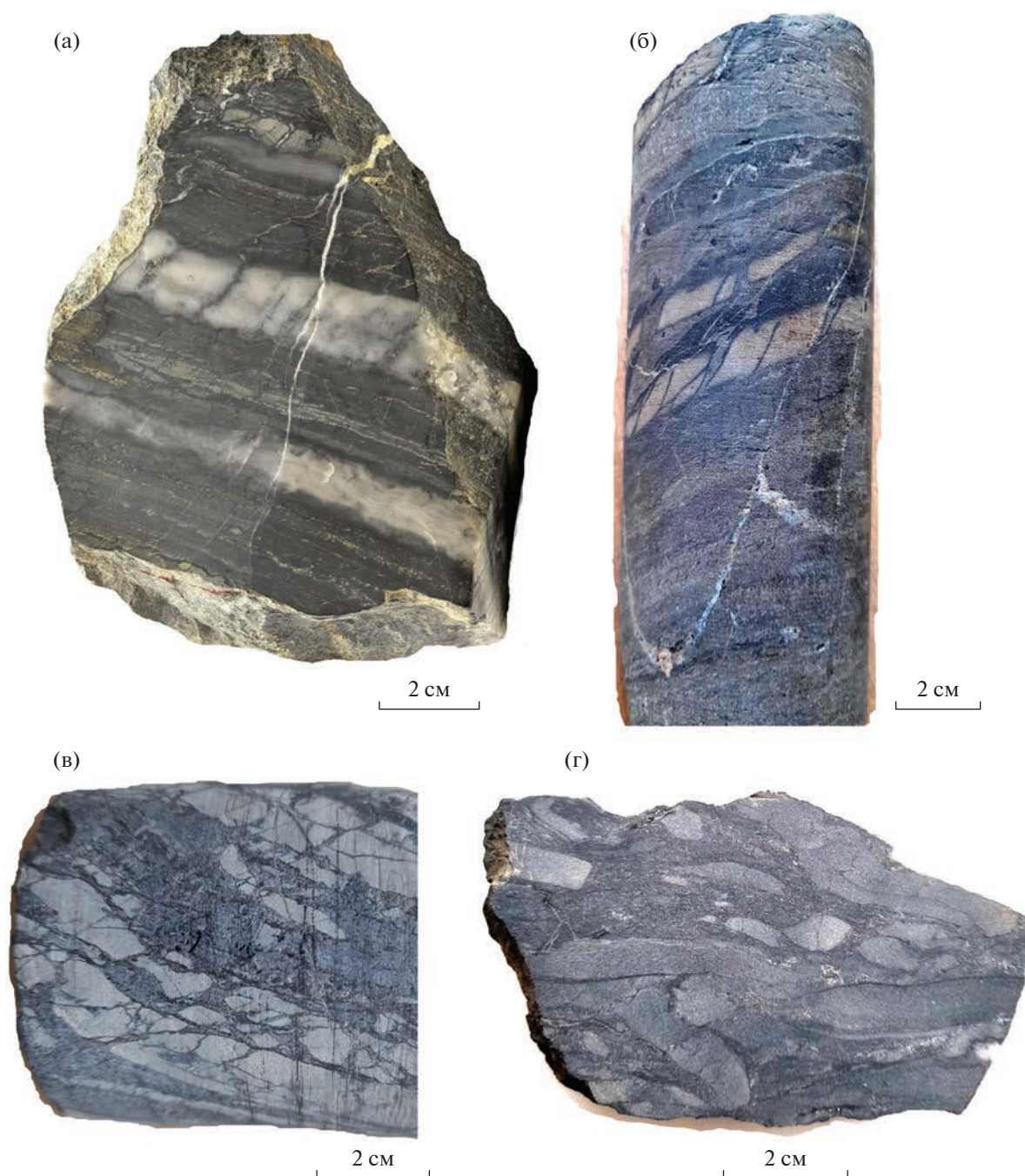
кремнистые или сидеритовые прослои, а в кровле отлагается углеродистый пелитовый материал (фиг. 7, 8, 9).

Структурные взаимоотношения рудных и нерудных прослоев указывают на их синхронное отложение. К ним относятся как резкие границы, так и наличие поверхностей размыва рудным материалом подошвы ритма углеродисто-пелитового материала кровли предыдущего ритма. Рудные прослои представлены преимущественно кварцем и сульфидами, реже с примесью сидерита и слюдистых минералов и имеют гранобластовое и лепидобластовое строение. Среди них при изучении под электронным микроскопом выявлялись реликты коллоидно-глобулярных структур. Изучение подобных образований, проведенное В.А. Акимцевым (1992), указывает на возможное гелеобразное первичное состояние рудного вещества, но сохранность таких структурных элемен-

тов низка. Кремнистые и сидеритовые прослои, в основном, имеют тонкозернистое и пелитоморфное строение. Кварц-сульфидный материал рудных прослоев в условиях катагенеза и динамометаморфизма частично переотлагается в полости послойных срывов и в трещины кливажа, широко проявляющихся в компетентных кремнистых и сидеритовых прослоях.

Текстурно-минеральные типы руд локальных зон динамометаморфизма

Рудовмещающие толщи месторождения, помимо процессов регионального метаморфизма, интенсивно смяты в серию сжатых складок, осложнены разломами и зонами повышенной трещиноватости. Структурно в рудных прослоях проявились микроскладчатость, плейчатость и гофрировка слоев с элементами сдвиговых де-



Фиг. 6. Текстуры типов рудовмещающих пород: а – ритмичное чередование кремнистых и пирротин-углеродисто-слюдястых прослоев (К-7), б – слоистая углеродисто-алевролит-пелит-сидеритовая порода с признаками градиционной сортировки и кливажирования (428/124.7), в – кливажированная и будинированная слоистая углеродисто-слюдясто-сидеритовая порода (2005/60), г – рассланцованная брекчированная слоистая углеродисто-слюдясто-сидеритовая порода с послойной и вкрапленной сульфидной минерализацией (146/169).

формаций и повторной перекристаллизации рудного вещества. В нерудных прослоях в углеродистых и кремнисто-слюдястых сланцах это проявилось в развитии парагенезисов биотит-хлорит-гранат и кварц-мусковит, парагенезисов в углеродисто-слюдястых прослоях с биотитом, хлоритом и гранатом, порфиробластовых и лепидобластовых структурах.

Наиболее сложный текстурный рисунок приобретают контрастно-построенные слоистые сульфидно-кремнистые и сульфидно-сидеритовые руды с прослоями углеродистых сланцев в зонах интенсивного рассланцевания. Они характеризуются полосчатыми, линзовидно-полосчатыми и гнейсовидными, будинированными брекчиевидными-полосчатыми текстурами за счет дезинтеграции,



Фиг. 7. Горевское месторождение. Рудный ритм: 1 (ярко-серое) — рудные прослои, сложенные в основном галени- том, сфалеритом, меньше пирротинном, кварцем, карбонатом; 2 (зеленовато-серое) — прослои сидерита; 3 (темно-се- рое) — прослои углеродисто-хлорит-кварц-карбонатного сланца с вкраплениями ильменита. Красной стрелкой “вправо—влево” показан полный ритм, простой точечной стрелкой — часть ритма. В деформированном сидеритовом прослое хорошо видны трещины кливажа, частично, а местами — полностью заполненные регенерированными в про- цессе динамометаморфизма сульфидами (в основном галени- том — белые просечки).

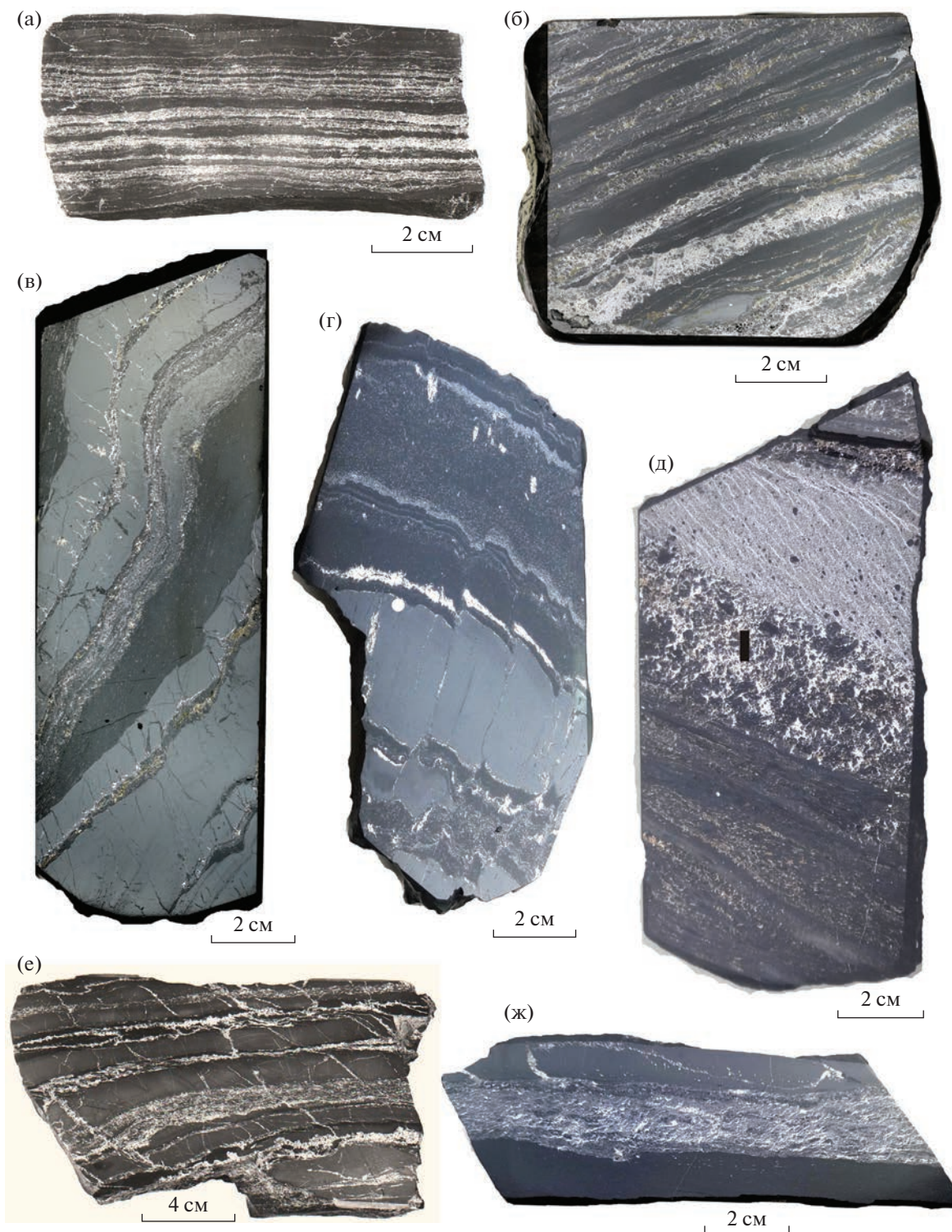
развальцевания и разлинзования хрупких и бо- лее компетентных по своим физико-механиче- ским свойствам нерудных прослоев и залечива- ния их пластичным сульфидным материалом. Трещины кливажа, полости отслоения слоев и межпластовые разрывы в кремнисто-сидерито- вых прослоях заполняются более пластичной сульфидной или углеродисто-слюдистой массой (фиг. 10а–в).

В зонах приразломных дислокаций ритмично- слоистые руды характеризуются структурами ма- лых складчатых форм. В них отмечаются призна- ки дисгармоничной изоклинальной складчатос- ти, пloidчатость, складки волочения размером до десятков сантиметров с уменьшением мощно- стей крыльев складок и “перетеканием” рудного вещества в замковую часть, в трещины кливажа и в зоны излома (kink-bands). Здесь же отмечается микробрекчирование кремнистых и сидеритовых прослоев и залечивание сульфидной массой. В прослоях углеродистых сланцев отмечается развитие мелкой складчатости в виде гофрировки и развитие в них порфиروبластов хлорита, биоти- та и мусковита.

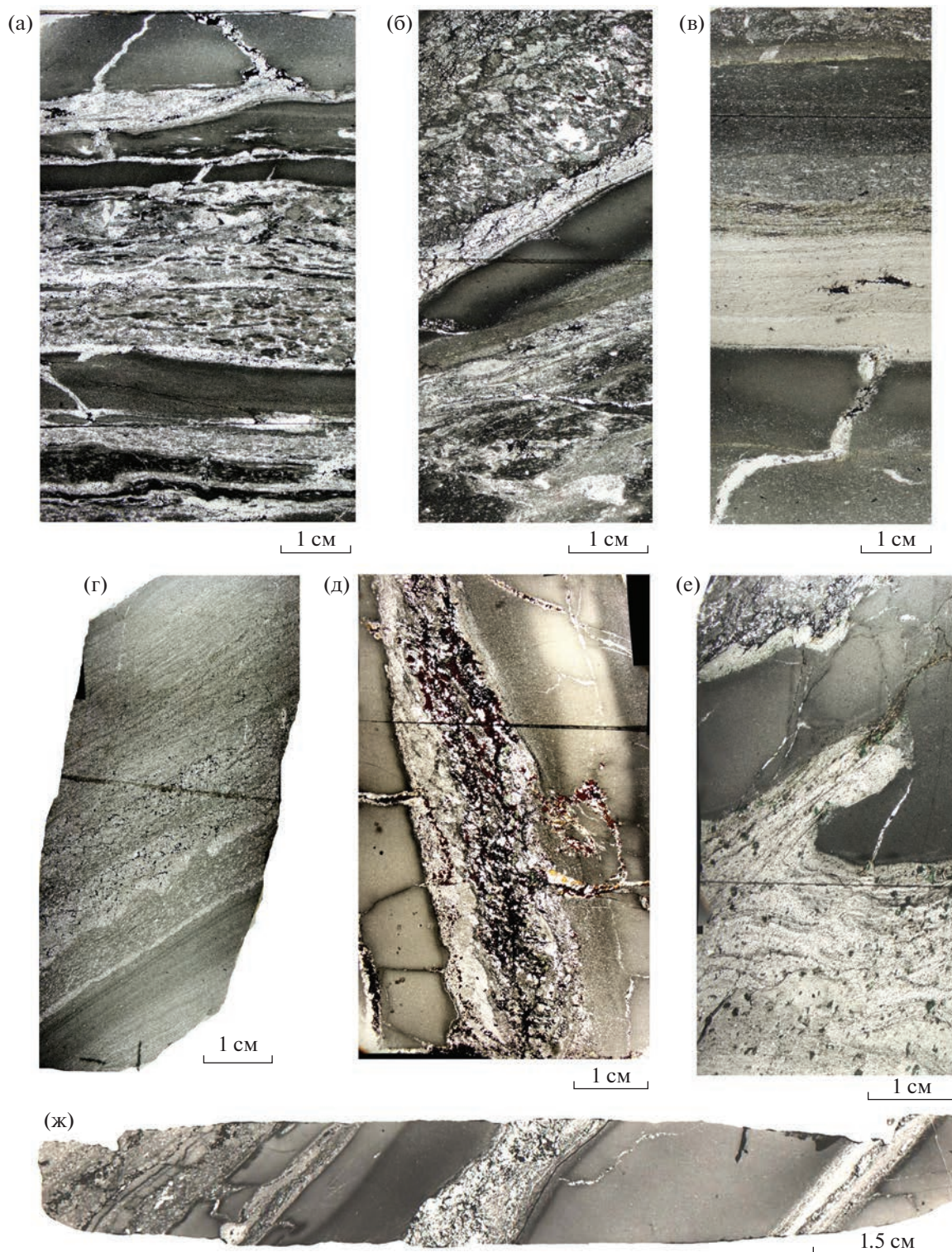
Наглядно процесс миграции сульфидов и брекчирования нерудного материала прослежи- вается в открытых и изоклинальных складках слоистых руд различной масштабности (фиг. 10г, д, е). В них повсеместно отмечается уменьшение мощности рудных прослоев и перемещение брек- чированной сульфидной массы в шарниры скла- док. Характерно также развитие межпластовых складок волочения с сульфидным цементом.

Характерным текстурным типом руд Горев- ского месторождения являются брекчиевидные разнообломочные существенно сульфидные ру- ды, образующие маломощные прослои в полос- чатых рудах, в складках в их шарнирной части. Они представлены фрагментами слабо окатан- ных пород (до десятка см) в существенно галени- товой массе (фиг. 10ж, з) и относятся к текстурно- му типу так называемых “шариковых” руд. Руды имеют массивное скрытозернистое строение, ха- рактерную коричневатую окраску за счет сфале- рита или сизую — за счет галенита в цементирую- щей массе и “глазковые” вкрапления нерудных минералов. Микроскопически они представлены субграфическими срастаниями галенита-сфале- рита-пирита или пирротина-галенита. Одной из минералогических особенностей этого типа руд является присутствие барий-содержащей слюды, цельзиана, эллахерита, калиевого полевого шпа- та, реже граната, хлорита, магнетита, кварца. Часто в них встречаются порфиروبласты арсенопирита, пирита и появляется вкрапленность минералов группы сульфоарсенидов и сульфоантимонитов, а также серебряных минералов.

Генезис этого типа руд достаточно неоднозна- чен. Определенная часть этих брекчиевых руд на месторождении может рассматриваться как при- бортовые оползневые брекчии и брекчии обру- шения конседиментационной рудолокализу- ющей впадины. Однако типичных конседимента- ционных рудных и нерудных грубообломочных брекчий и масштабных турбидитовых пачек с гра- дационной сортировкой рудного и нерудного ма- териала на месторождении не встречается, что обычно для гидротермально-осадочных место-



Фиг. 8. Ритмично-слоистые полиметаллические руды: а – тонкослоистое чередование пирротин-сфалерит-галенитовых и углеродисто-слюдисто-сидеритовых прослоев (К-42), б – ритмично-слоистая руда с переслаиванием сульфидных прослоев массивного шарикового (брекчиевидного) строения, сульфидно-кремнисто-сидеритовых прослоев прожилково-вкрапленного строения и сидеритовых прослоев (420/222), в – ритмично-слоистая углеродисто-сидеритовая руда в переслаивании с сульфидной вкрапленной минерализацией, с регенерацией сульфидов в трещины кливажа в сидерите (2012А/222), г – микросмещение в сидеритовом прослое в породе с послойной пирротин-сфалеритовой минерализацией (К-5/3), д – прослой массивной сульфидной руды с признаками градационной сортировки и пластического кливажа в слоистой сульфидно-углеродисто-кремнисто-сидеритовой породе (420/225), е – ритмично-слоистая руда с признаками регенерации сульфидов в трещины кливажа (К-31), ж – сульфидный прослой в углеродисто-кремнисто-сидеритовой породе с регенерированными сульфидными прожилками (71/33).



Фиг. 9. Структурные взаимоотношения рудных и нерудных прослоев в ритмично-слоистых рудах в прозрачных шлифах: а – ритмичное переслаивание углеродисто-кремнисто-сидеритовых пелитоморфных и рудных кварц-сидерит-сульфидных прослоев кристаллически-зернистого строения (К-75), б – градационная сортировка обломочного материала в рудных ритмах (420/509), в – градационная сортировка пирротин-содержащего тонкообломочного алевропелитового материала и углеродистого пелитового материала с регенерированным кварц-карбонатным прожилком (428/112), г – структурные признаки размыва кровли кремнисто-известкового прослоя в ритмично-слоистой породе (К-12), д – хлорит-кварц-сфалеритовый прослой в слоистом сидерите с регенерированными прожилками сфалерита (215/300), е – залечивание катаклазированного прослоя сидерита пластичным кварц-слюдистым материалом в деформированной породе (031/51), ж – элементы размыва кровли углеродистых кварц-сидеритовых прослоев на границе с кварц-сидерит-сульфидными прослоями в ритмично-слоистой руде (К-41).

рождений, сформированных в грабен-синклинальных структурах (Кузнецов и др., 1990). Скорее всего, они представляют продукты пластических деформаций и брекчирования в зонах повышенного динамометаморфизма.

На месторождении представлено два морфогенетических типа кварцево-жильной минерализации с признаками **гидротермально-метаморфогенного рудоотложения**. Первый встречается в полосчатых, линзовидно-полосчатых и “шариковых” рудах в виде гнездово-жильных образований белого и серого кварца. Возможно, его образование связано с процессом перекристаллизации и перетложения кремнистых осадков в процессе динамометаморфизма. Второй тип представлен крупнокристаллическими кварцевыми, кварц-кальцитовыми и карбонатными (доломитового и анкеритового состава) жилами и линзовидными образованиями, с убогой вкрапленностью, редко гнездами сульфидов. Они тяготеют к зонам тектонических нарушений, имеют протяженность до первых десятков метров по простиранию и на глубину и мощность от первых см до 0.5–0.7 м. Нередко в них рудные минералы, такие как галенит и сфалерит, представлены крупнокристаллическими разностями. Такие жилы встречаются преимущественно среди слабо измененных карбонатных пород и самостоятельного промышленного значения не имеют (Макаров и др., 2014ф).

В процессе отработки месторождения в карьере в пределах участков развития существенно свинцовых массивных руд висячем боку Главного рудного тела отмечаются зоны мощностью не менее 0.6 м с богатой галенитовой минерализацией, секущей как ритмично-слоистые руды, так и гидротермально-метаморфогенные жилы кварца (фиг. 11).

Эти образования имеют хорошо выраженный инъекционный характер и участками выглядят как “шариковые” руды, рассекающие слоистые. Этим они отличаются от первой – послойной – разновидности брекчиевидных руд. Относительный возраст описываемой минерализации можно оценить по тому, что она прорывает как слоистые руды, так и жилы гидротермально-метаморфогенного кварца.

Текстурно-минеральные типы руд процесса контакто-термального метаморфизма

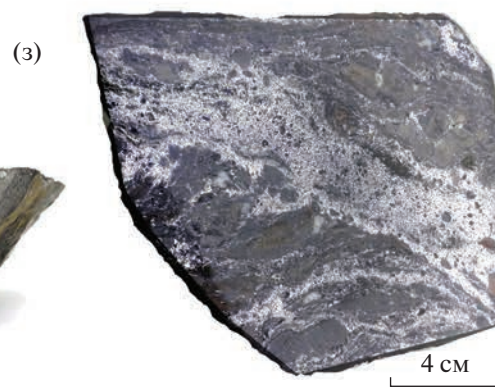
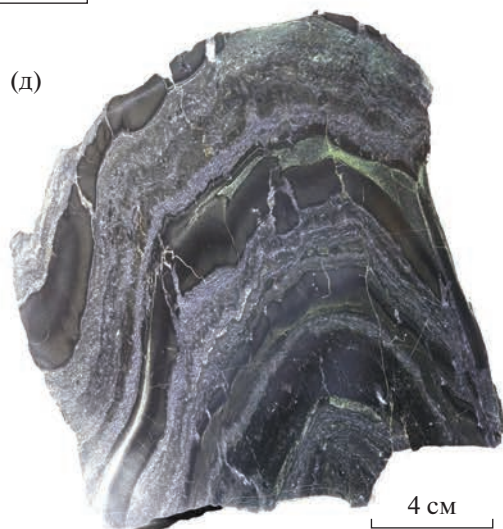
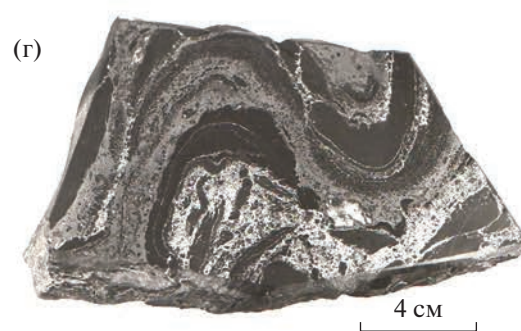
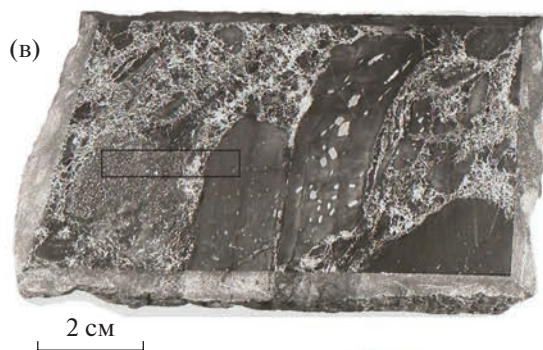
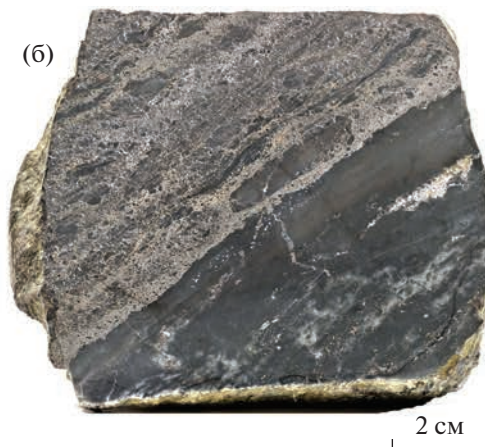
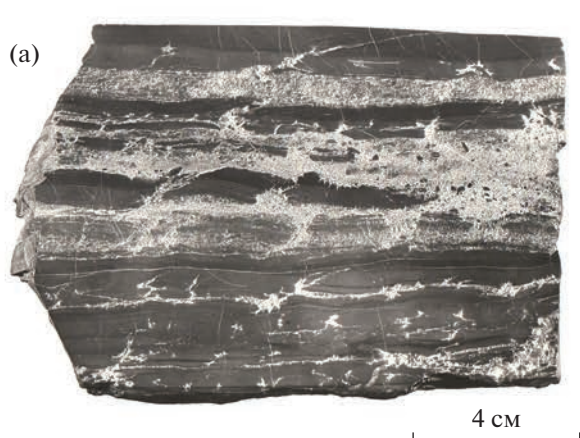
Одним из дискуссионных вопросов на месторождении является природа скарноподобных пород, фрагментарно встречающихся по всей рудной зоне. К ним относятся разности амфибол-хлорит-магнетитсодержащих сидерит-сульфидных руд. Структурная позиция их на месторождении обозначена не очень четко. Они проявляются в виде локальных участков линзовидной или протяженной формы, мощностью до десятков метров, просле-

живаемых по скважинам на десятки и сотни метров. На юге рудной зоны этот тип отмечается в связи с зонами разломов и в ассоциации с дайками долеритов и зонами хлоритизации. В юго-восточной части месторождения, в районе погружения рудной зоны на глубину, они тяготеют к тектоническим зонам, контролирующим дайковый комплекс долеритов (см. фиг. 3).

На северо-западе месторождения магнетитовая минерализация проявлена более масштабно и приурочена к скарнированным породам, зонам наибольшей деформированности и тектонической нарушенности пород и руд, где отсутствуют какие-либо магматические проявления. Породы имеют порфиroidное строение с развитием своеобразных светло-серых розеточных, волокнистых и радиально-лучистых агрегатов. Руды характеризуются массивными, брекчиевидными, полосчатыми, бурундучными и порфиroidными текстурами и часто содержат прожилково-гнездовую кристаллически зернистую полиметаллическую минерализацию (фиг. 12а–е).

Основным рудным минералом в них является магнетит, в значительных количествах представлен пирротин, появляется пирит. Максимально этот тип минерализации представлен в пределах Северо-Западного рудного тела, где валовое содержание железа в сидерит-сульфидных рудах увеличивается с 30 до 40 мас. %, а количество магнетита возрастает на 5–15 мас. %. Из нерудных минералов в этой группе пород характерно развитие амфибола, хлорита, биотита, граната, кварца, сидерита. Амфибол, по данным рентгеноструктурного и химического анализов и ИК-спектроскопии, относится к высокожелезистой Mn-Mg-содержащей разности – грюнериту. Типоморфным признаком этого типа руд является присутствие радиально-лучистых и розеточных агрегатов в грюнерит-хлорит-магнетитовых и кварц-гранат-магнетит-пиритовых ассоциациях (фиг. 13а, в, г, е). Из структурных особенностей этой группы рудных образований характерно развитие также амфибол-кварцевых, пирит-кварцевых, амфибол-кварц-сидеритовых гранат-амфибол-хлоритовых, магнетит-гранат-кварц-сидеритовых агрегатов.

Чаще всего магнетитовая минерализация развивается по сидеритовым и кварц-сидеритовым породам, по пириту и пирротину в виде крупных порфиroidных вкрапленников размером до 5–6 м гелицитовой структуры с включениями пирротина и нерудных минералов. Характерны также образования масс тонкокристаллического магнетита петельчатых структур в кварц-сидеритовых прослоях гранобластового строения и существенно магнетитовых тонкозернистых образований в существенно сидеритовых прослоях. Отмечаются прожилковые магнетитовые, пирротин-галенит-магнетитовые прожилки, секущие эти прослои тонкозернистого магнетита, что объясняется процессами более поздней регенерации (фиг. 13б).

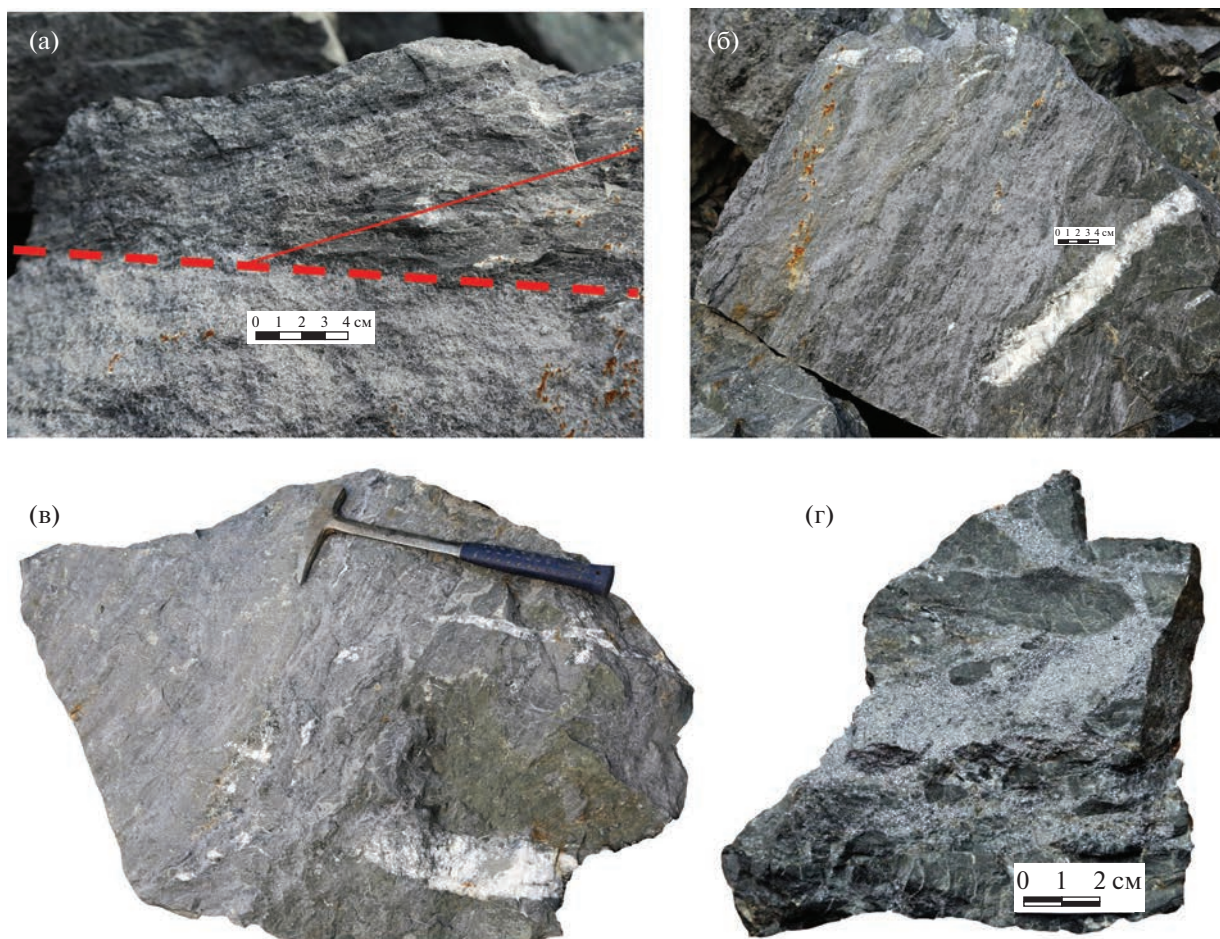


Фиг. 10. Текстуры признаки метаморфизованных гидротермально-осадочных ритмично-слоистых руд: а — дезинтеграция углеродисто-слюдистых кварц-сидеритовых пропластков и залечивание сфалерит-галенитовым материалом рудного прослоя шарикового строения в ритмично-слоистой сульфидной руде (К-1/84), б — гнейсовидно-полосчатое строение тонкослоистого сфалеритового рудного прослоя на границе с массивным углеродистым кварц-сидеритовым прослоем (420/215), в — гнейсовидно-брекчиевое строение динамометаморфизованной слоистой полиметаллической руды (27/34), г — пересечение пластичным галенитовым агрегатом шарикового строения рассланцованной слоистой кварц-сидерит-сульфидной руды (Гор. 4), д — существенно галенитовый рудный прослой шарикового (брекчиевидного) строения (2135/55), е — складка ритмично-слоистая с элементами пloidчатости в кварц-слюдисто-рудных прослоях и кливажем в углеродисто-кремнисто-сидеритовых прослоях с регенерированным оруденением (К-35), ж — складка пирротин-сидеритовой руды с признаками кливажа (в сидеритовых прослоях) и микробрекчирования (в сульфидных прослоях) (Г-27/82), з — дислоцированная ритмично-слоистая руда с элементами брекчирования компетентных кварц-сидеритовых прослоев в замковых частях складок и залечивания обломков сфалеритовым (серое) или галенитовым (белое) материалом (К-34).

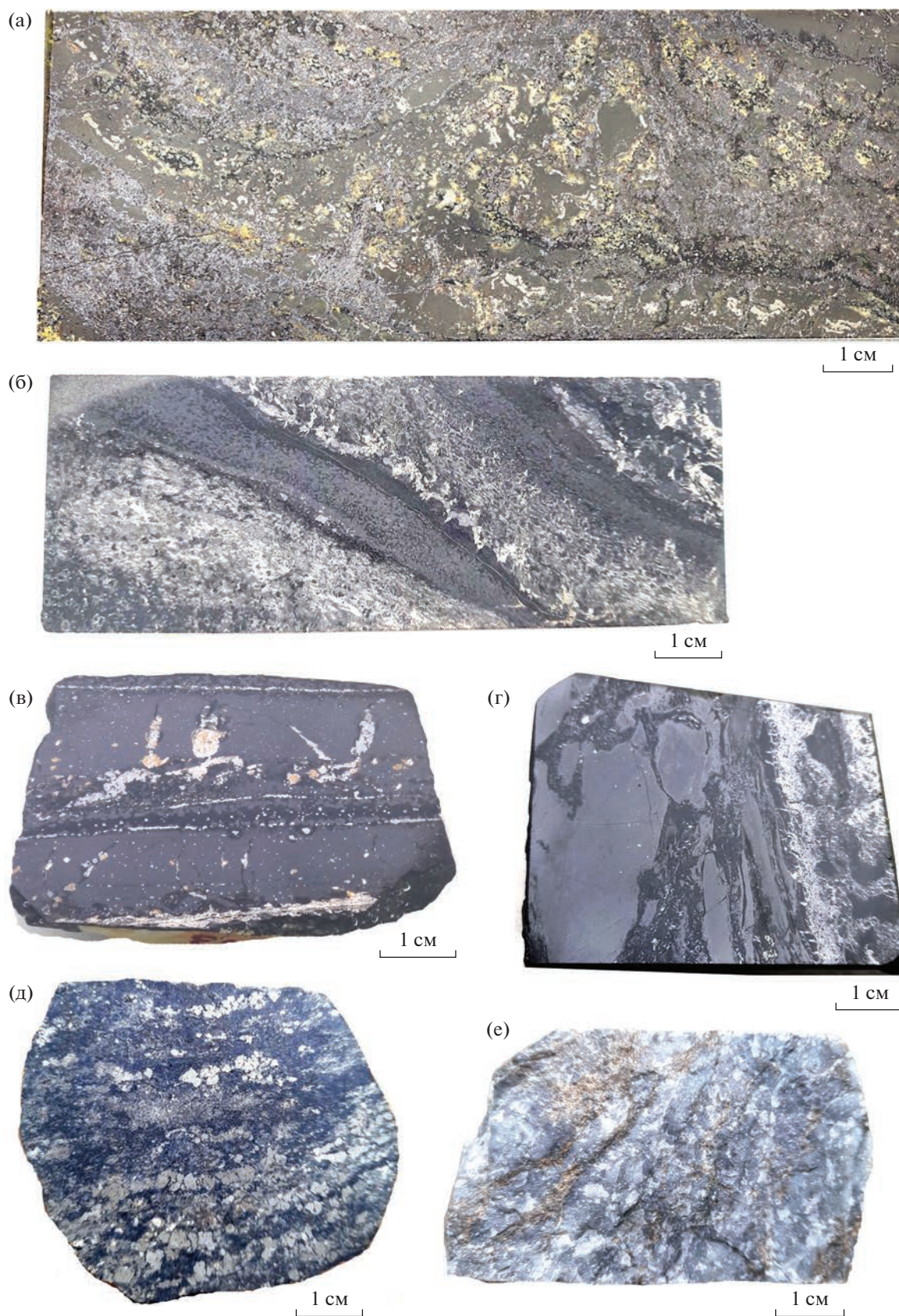
Текстурно-минеральные типы руд зон тектонических нарушений

Значительный объем рудной массы на месторождении представлен среднезернистыми кварц-сульфидными рудами сахаровидного строения массивной и полосчатой текстуры с ветвисто-прожилковой, гнездово-вкрапленной сульфид-

ной минерализацией (см. фиг. 12е). Ранее сторонниками эпигенетического генезиса месторождения они рассматривались как продукты метасоматических процессов предрудной и рудной стадий. В них сохраняются реликты деформированных слоистых руд и вмещающих углеродисто-слюдисто-терригенно-карбонатных пород с ре-



Фиг. 11. Массивная галенитовая руда. а — секущий контакт зоны с богатой галенитовой минерализацией (светло-серое) с послойной сульфидно-кремнисто-сидеритовой рудой (видна ритмично-слоистая текстура); б, в — срезание гидротермально-метаморфогенных жил кварца (белые) зоной с богатой галенитовой минерализацией (серое); г — брекчиевая свинцовая руда — нерудные обломки вмещающих пород “плавают” в существенно галенитовой основной массе (светло-серое).

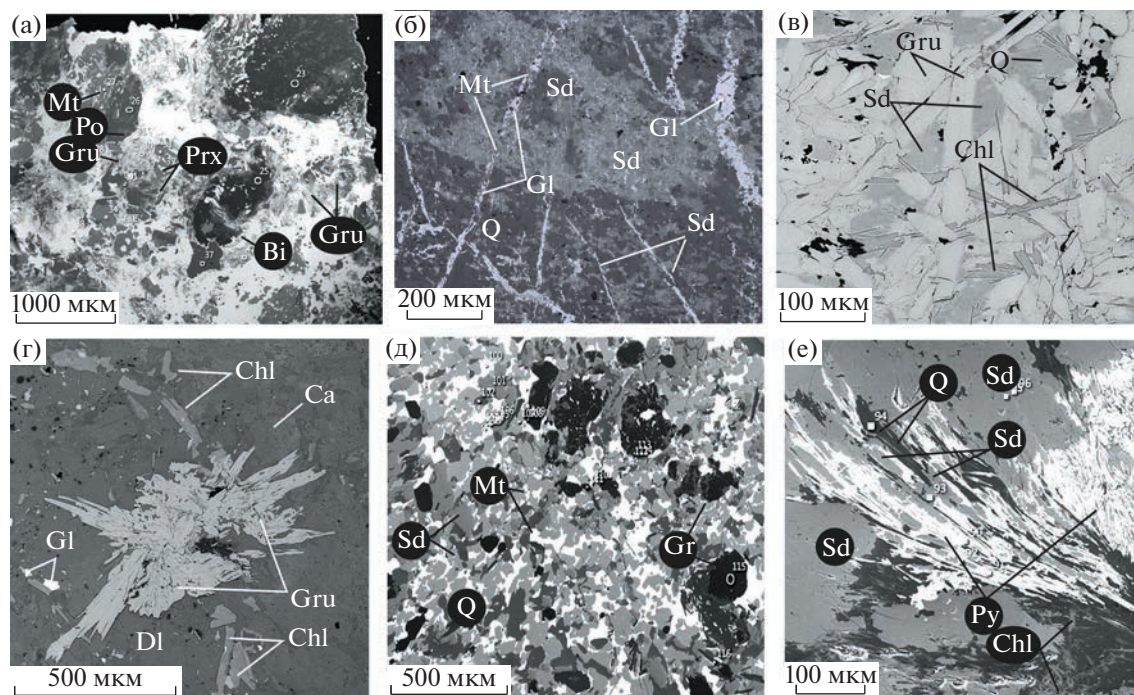


Фиг. 12. Текстуры признаки контактового и гидротермального преобразования руд: а — порфирово-полосчатая грюнерит-Ру-Ро-Гл-Сф-магнетитовая руда (029/182, б — порфирово-полосчатая грюнерит-гранат-Ро-Ру-магнетитовая руда (048/212.5), в — прожилковая и вкрапленная грюнерит-пирит-магнетитовая минерализация в углеродистом сидерите с прослоями хлоритовых сланцев с катаклазированными зернами граната (420/313), г — брекчированный прослой углеродистого сидерита с сыпью магнетита и регенерированной сульфидной минерализацией (2011А/366)), д — кристаллически-зернистая порфирово-полосчатая пирит-магнетит-кварц-сидеритовая руда (2009/163), е — прокварцованная полосчатая сульфидная руда (2011А/410).

ликами слоистых руд. Выделяются: кварц-галенитовые, кварц-сфалеритовые, кварц-пирротин-сидерит-содержащие разности. Пространственно они часто совмещены с проявлениями магнетитовой минерализации в тектонических зонах, контролирующих дайковые тела долеритов и кварцево-сульфидную жильную минерализацию, с крупнокристаллическими пирротинитом, галенитом, сфалеритом, сидеритом, доломитом и анкеритом. В Северо-Западном рудном теле кристаллически-зернистые кварц-полиметаллические руды на участках проявления скарированной минерализации ассоциируют с крупнокристаллическими и порфириновидными пиритовыми, пирит-магнетитовыми и кварц-сидерит-пиритовыми рудами. Все эти текстурно-минеральные типы руд имеют идентичный минеральный состав и геохимическую характеристику, что позволяет

рассматривать их как продукты перекристаллизации и регенерации первичных гидротермально-осадочных руд, осложняющих морфологию первичных пластовых рудных залежей и их внутреннее строение.

Кроме того, руды Горевского месторождения подверглись воздействию метаморфических процессов, которые привели к некоторому преобразованию рудного вещества. Это выразилось в перекристаллизации агрегатов рудных минералов, пластической деформации (вплоть до “течения вещества”), дроблении, а также появлении новообразованных сульфосольных минеральных парагенезисов за счет освобождения микропримесных компонентов из первично-осадочных галенита и сфалерита. Термобарогеохимические исследования перекристаллизованного метаморфогенного кварца показали присутствие газовых



Фиг. 13. Структурные признаки контактово-термальных и динамометаморфических преобразований руд: а — грюнерит-биотит-пирротин-магнетитовая минерализация, наложенная на кварц-сидеритовую породу с сыпью магнетита (427/460), б — галенит-магнетитовые прожилки, рассекающие реликтовый сидерит с сыпью магнетита (2119/41, длина сидеритового фрагмента 1 мм), в — грюнерит с пластинчатыми кристаллами хлорита (048/206), г — радиально-лучистый грюнерит (Г-24/80), д — радиально-лучистый кварц-сидеритовый агрегат с порфириобластами граната и магнетита (К-40), е — радиально-лучистый кварц-пиритовый агрегат в хлорит-магнетит-сидеритовой породе (215/315). **Обозначения:** Gru — грюнерит, Chl — хлорит, Q — кварц, Bi — биотит, Mu — мусковит, Sd — сидерит, Gr — гранат, Py — пирит, Po — пирротин, Gl — галенит, Mt — магнетит.

флюидных включений однофазных и двухфазных с жидкой CO_2 , а также водно-солевых двухфазных и трехфазных с галитом. В количественном отношении в образцах резко преобладают газовые флюидные включения. Водно-солевые флюидные включения гомогенизируются в интервале температуры от 380 до 145°C. Соленость рудообразующих флюидов могла варьировать от 36 до 7 мас. % экв. NaCl . В солевом составе флюидов доминируют NaCl и CaCl_2 . Такой солевой состав типичен для метаморфогенных флюидов и бассейновых хлоридных вод глубокой циркуляции. Количественное преобладание в кварце газовых флюидных включений над жидкими указывает на то, что изученные образцы характеризуют уровень вскипания рудообразующих флюидов (Moncada et al., 2012). Данные исследования газовых флюидных включений методом КР-спектроскопии позволяют отнести их по составу к трем группам: $\text{CO}_2\text{--N}_2$, $\text{N}_2\text{--CH}_4$ и $\text{CO}_2\text{--N}_2\text{--CH}_4$. Согласно данным Керкхофа (1988), плотность $\text{CO}_2\text{--N}_2$ и $\text{N}_2\text{--CH}_4$ газовых включений составляет 1.02–0.89 и 0.21–0.02 г/см³ соответственно. Захват газовых включений различной плотности мог происходить при весьма разном давлении, которое может быть оценено в первом приближении в 4.5–2.7 кбар для $\text{CO}_2\text{--N}_2$ включений и в 0.6–0.4 кбар для $\text{N}_2\text{--CH}_4$ включений. Данные, полученные при изучении флюидных включений, могут отражать прогрессивную и регрессивную стадии метаморфизма руд Горевского месторождения. Причем на прогрессивной стадии с участием $\text{CO}_2\text{--N}_2$ флюидов образовывались Pb-сульфосольные минеральные ассоциации, а позднее, на регрессивной стадии, при участии более восстановленных $\text{N}_2\text{--CH}_4$ флюидов образовывались минеральные ассоциации с Ag-сульфосолями и самородным серебром.

Таким образом, разнообразие текстурно-минеральных типов руд Горевского месторождения обуславливается различными геологическими процессами, своеобразием состава и строением рудно-породного комплекса рудовмещающего разреза. Конкретно оценить масштабы распространения первичных гидротермально-осадочных руд не всегда представляется возможным, однако их присутствие повсеместно отмечается в карьере, в керне скважин на всей протяженности рудного горизонта и на глубину до 1200 метров. Первичные руды в зонах локального метаморфизма в результате перекристаллизации теряют признаки сингенеза и приобретают черты гидротермально-метасоматического облика.

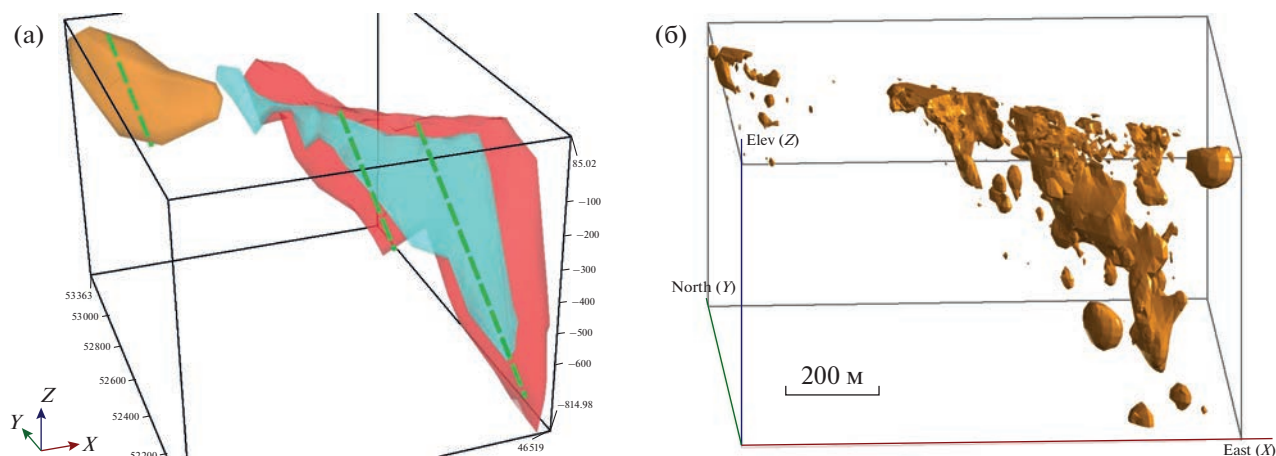
ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Важнейшие признаки Горевского месторождения, позволяющие относить его к формационному типу гидротермально-осадочных месторож-

дений, рассмотрены в ряде работ (Попов, 1969; Пономарев, 1979; Дистанов, Пономарев, 1980; Пономарев и др., 1991; Кузнецов и др., 1991). Вместе с тем, остаются слабо изученными признаки первичного строения рудного вещества, структурные и минеральные взаимоотношения с вмещающими породами, характер и масштабы структурных и минеральных постседиментационных преобразований.

Формирование Горевского месторождения связывается с развитием локальной депрессионной структуры размером 0.7×3 км, контролируемой крупным долгоживущим Горевским разломом, и дискретным накоплением гидротермальных рудных, углеродистых терригенных и хемогенных фаций в условиях компенсированного отложения осадков. Они в целом отличаются повышенной углеродистостью тонкообломочных алеврито-пелитовых пород, кремнистых и сидеритовых отложений. Строение рудовмещающего разреза указывает на дискретный характер и ярусность расположения рудных осадков. Пластовые рудные залежи имеют ритмично-слоистое строение, представляя чередование рудных прослоев, обогащенных сульфидами различной концентрации (до 20–70%) в кремнисто-сидеритовом агрегате, и нерудных отложений. Отдельные штучные образцы представлены ритмами двух- и трехчленного строения, представляющими чередование рудных, кремнистых и сидеритовых прослоев (см. фиг. 6–8).

Как показали проведенные нами исследования, формирование Горевского месторождения связано с развитием локальной депрессионной структуры размером 0.7×3 км, контролируемой крупным долгоживущим Горевским разломом. Дискретно-пульсационный характер поступления гидротермальных рудных, углеродистых терригенных и хемогенных фаций в условиях компенсированного отложения осадков в придонной части открытого мелководного моря привел к ритмично-слоистому строению рудовмещающего разреза. Иногда можно наблюдать двух- и трехчленные ритмы, представляющие чередование рудных, кремнистых и сидеритовых прослоев (см. фиг. 6–8). Процессы пульсационного поступления металлоносных растворов в бассейн седиментации при гидротермально-осадочном рудоотложении в режиме микросейсмичности и дискретного отложения рудного вещества во вмещающих терригенно-карбонатных породах характерны для многих крупных гидротермально-осадочных месторождений мира и детально рассмотрены в ряде работ (Дистанов, Ковалев, 1975; Shadlun., 1982; Hamilton et al., 1982; McClay, 1983; Large et al., 1998; Large, 1999; Ireland et al., 2004; Spinks et al., 2016). Все это позволяет рассматривать формирование основной массы полиметаллических руд Горевского месторождения путем прямого осаждения



Фиг. 14. Приуроченность богатых существенно свинцовых руд к осевым частям Главного и Северо-Западного рудных тел, отвечающим участкам их наибольшей мощности (зеленый пунктир). а – контур рудных тел (красным – Главное, голубым – Западное, коричневым – Северо-Западное); б – 3D-модель оруденения с содержанием более 5% Pb.

рудных компонентов непосредственно из придонных рудоносных рассолов, в противоположность представлениям о диагенетически-эпигенетическом механизме формирования оруденения (Попов, 1969; Belokonov et al., 2021).

Отсутствие крупнообломочных рудных и нерудных фаций, преобладание тонкообломочных алевропелит-песчанистых пород и наличие участков с реликтовыми ритмично-слоистыми текстурами позволяют предполагать относительно спокойную сейсмотектоническую обстановку седиментации в относительно небольшой пологой погружающейся рудолокализирующей депрессионной структуре с эвксинным режимом, осадко- и рудонакопления. В палеотектоническом плане формирование Горевской депрессионной структуры в позднерифейское время происходило сначала на фоне эволюции пришельфового мелководного бассейна с отложениями строматолитовых доломитов с превращением его позднее в более глубоководный бассейн. В нем в относительно глубоководных условиях накапливались слабоуглеродистые кремнисто-известковистые породы и слабоуглеродистые слоистые терригенно-кварц-известковистые породы флишеидного облика (Сараев, 1995). Горевская депрессионная структура имела относительно пологую форму, не связанную с грабенообразующими процессами. На это указывает слабая распространенность в рудовмещающем разрезе рудной зоны фаций конседиментационных рудных и нерудных брекчий, характерных для прибортовых участков таких структур, как это имеет место на ряде других месторождений (Ireland et al., 2004).

Одной из особенностей процесса рудоотложения на Горевском месторождении является ассоциация пирротиновых, цинк-свинцовых сульфидных, железосиликатных, железокarbonатных

и железоксидных отложений. Отмечаются признаки фациальной изменчивости отложений. Висячем боку рудной зоны преобладают пирротин-кремнисто-сидеритовые руды. В рудных залежах встречаются прослои магнетит-сидеритовых с признаками хемогенно-седиментационного отложения. Характерно также присутствие кремнисто-сульфидно-сидеритовых ритмитов во всех рудных телах. Такие рудные ассоциации сульфидных, железокarbonатных и железоксидных руд при гидротермально-осадочном рудоотложении детально рассмотрены на примере Озернинского рудного узла (Бусленко, Ковалев, 1977; Ковалев, Бусленко, 1992).

Рудоотложение на Горевском месторождении происходило при поступлении в бассейн седиментации кремнезема, Fe, Mn, Pb, Zn, Ag, Sb, As и Ba в условиях обогащенности CO_2 и недостатка серы. Это определило минеральную специфику руд, выраженную в преобладании пирротина над пиритом и широким развитием в них сидерита. Для сульфидных минералов всех типов руд месторождения установлен тяжелый изотопный состав серы ($\delta^{34}\text{S} = +10.5 \dots +23.8\text{‰}$). Эти значения близки к изотопному составу серы сульфидов руд, выявленному нами на стратиформных полиметаллических месторождениях Холоднинском ($\delta^{34}\text{S} = +9.3 \dots +25.4\text{‰}$ (Бровков и др., 1979; Гриценко и др., 1984; Пономарев и др., 1991; Kovalev et al., 2004) и Озерном ($\delta^{34}\text{S} = +8.3 \dots +20.8\text{‰}$) (Ковалев и др., 1998, 2000). В качестве источника серы рассматривается процесс сульфат-редукции морской воды.

Температура первичного рудообразования оценивается диапазоном 140–250°C (Пономарев и др., 1991; Акимцев, 1992), температуры 300–550°C характеризуют этап метаморфогенных пре-

образований (Кузнецов и др., 1991), при этом отмечается одинаковый характер постседиментационных преобразований руд и вмещающих пород и одинаковая степень их дислоцированности.

Одной из необычных изотопно-геохимических и геохимических особенностей оруденения Горевского месторождения является коровая природа галенита (Шилов, 1987), отсутствие медной и золотой минерализации, обогащенность серебром, высокая железистость и марганцовистость пород и многих минералов.

Богатые существенно свинцовые руды, в отличие от субогласных слоистых свинцово-цинковых, нередко имеют по отношению к вмещающим породам секущий характер. Пространственно они приурочены исключительно к лежащим бокам Главного и Северо-Западного рудных тел, что нашло отражение в схемах поперечной минералого-геохимической зональности Горевского месторождения. Морфологически тела существенно свинцовых руд имеют близко изометричную форму, чем принципиально отличаются от линзо- и пластообразных тел, сложенных свинцово-цинковыми рудами. Наиболее богатые их части (содержание Pb более 12%) образуют обособленные скопления, контуры которых при понижении бортового содержания (до 5–7%) сливаются, образуя более протяженные рудные залежи, вытянутые вдоль их осевых частей и отвечающих наиболее глубоким участкам палеовпадин (фиг. 14).

Богатые галенитовые руды, как правило, имеют брекчиевое строение, в их составе резко преобладает галенит, в связи с чем они имеют аномально высокую диспропорцию в соотношении Pb : Zn (в среднем около 7 : 1, достигая значений 20 : 1), что связано не только с увеличением среднего содержания Pb в таких рудах, но и с резким (почти в 10 раз) уменьшением количества цинка. Зоны с богатой галенитовой минерализацией срезают гидротермально-метаморфогенные жилы кварца и содержат обломки даек долеритов. В таких рудах отсутствует прямая корреляционная связь между Pb и Zn, хотя для слоисто-полосчатых свинцово-цинковых руд такая связь является характерной. Существенно свинцовые руды сложены наиболее поздней продуктивной пирротин-галенитовой минеральной ассоциацией, при этом галенит и пирротин в ней существенно отличаются от ранней генерации этих минералов: по данным LA-ICP-MS анализа для поздней генерации галенита установлено обогащение Ag, Sb, Cd и Tl, но обеднение по другим компонентам — Fe, Cu, Zn, As, Sn; более поздние генерации пирротина также обедняются большинством элементов-примесей (Co, Ni, Zn, Pb, Ag, Sb, Ba, Hg, Tl). По данным изотопных исследований, в поздней ассоциации рудных минералов состав серы сульфидов

имеет более легкий изотопный состав по сравнению с ранней ассоциацией (Пономарев и др., 1991).

Некоторые исследователи (Кузнецов и др., 1991) связывают образование участков богатых свинцовых руд с частичной регенерацией ранее сформированной синседиментационной сульфидной минерализации в процессе динамотермального метаморфизма. С их точки зрения, последний сопровождался складкообразованием и разрывной тектоникой, вызвавшими пластическое течение и перемещение сульфидного вещества, в результате чего произошло, в том числе, нагнетание Pb к ядрам антиклинальных складок.

Действительно, практически на всех стратиформных месторождениях, подвергшихся сильному метаморфизму, первичные руды утрачивают свои изначальные черты гидротермально-осадочного рудоотложения. Первично слоистые руды превращаются в полосчатые разновидности, проявляются будинаж, межпластовое брекчирование и другие структурно-текстурные преобразования. Все это сопровождается частичной регенерацией и переотложением рудного вещества, что приводит к усложнению морфологии пластовых рудных залежей, их текстурно-структурного рисунка и минералого-геохимических особенностей руд (Vikentyev et al., 2017).

Естественно, что степень преобразования руд соответствует уровню метаморфизма вмещающих пород. Так, на месторождении Broken Hill, метаморфизованном в условиях гранулитовой фации, руды полностью переотложены в замки складок и оперяющие зоны смятия (Добрецов, 1985; Walters, 1998; Huston, 2006; Spry et al., 2007). На более низких ступенях метаморфизма степень трансформации первичных руд существенно снижается. В результате метаморфизма уровня эпидот-амфиболитовой фации руды испытывают преобразование в пределах первичных рудных залежей без значимой дифференциации вещества и при общей сохранности их морфологии (Дистанов, 1977; Дистанов и др., 1982; Ковалев, 1975; Heinrich, 1998). На Холоднинском месторождении, степень метаморфизма которого существенно выше, чем Горевского, есть явные признаки регенерации рудного вещества; они особенно проявлены в локальных тектонических зонах (Дистанов, 1977; Структурно-минералогические ..., 1987). На полиметаллических месторождениях Озернинского рудного узла перераспределение вещества в результате метаморфизма менее значительно и соизмеримо с масштабами развития малых структурных форм в рудах — рудные минералы переотлагаются в послонные и секущие мелкие прожилки и замковые части мелких складочек (Ковалев, Бусленко, 1992; Викентьев и др., 2023).

Близкие результаты были получены и в ходе всестороннего изучения (детальные структурные, петрографические и петрологические данные, изотопия O, C, S, Sr и Pb) небольшого полиметаллического месторождения Ленгенбах (Lengenbach) в Альпах, локализованного в доломитах, метаморфизованного на уровне амфиболитовой фации. Результатом целенаправленных исследований стал вывод о том, что перемещение рудного вещества в ходе его ремобилизации ограничено масштабом до нескольких метров (Heinrich, 1998).

На Горевском месторождении рудовмещающие породы и руды претерпели динамотермальный зеленосланцевый метаморфизм уровня биотитовой субфации (Бровков и др., 1976; Кузнецов и др., 1991). Его последствия, помимо перекристаллизации вещества, появления различных текстур метаморфогенной природы, будинажа, кливажа, разнопорядковых складок, проявлены в виде зон внутрислойного брекчирования и пластического течения. Однако все эти метаморфогенные структурные преобразования, наблюдаемые микро- и макроскопически, происходили без масштабного перемещения рудного вещества, то есть оно было локальным.

О незначительных масштабах метаморфогенного перераспределения рудного вещества на Горевском месторождении свидетельствуют карты распределения Pb и Zn, построенные по данным эксплуатационного опробования шлама буровзрывных скважин, пройденных в карьере по сетки 4×4 м. На этих картах хорошо просматривается выдержанное линейное распределение концентраций Pb и Zn, соответствующее рудным горизонтам. Результаты геохимических исследований Горевского месторождения не подтверждают значительного перераспределения рудного вещества в процессе дислокационного метаморфизма (Набоков, 1991⁴). Кроме того, сложно объяснить существенно галенитовый и пирротин-галенитовый состав брекчий в сравнении с “материнским” свинцово-цинковым составом первичного оруденения, исключительно высокую степень концентрирования Pb, секущие контакты, масштабное (до первых сотен метров) перемещение регенерированного рудного материала и, наконец, наличие таких богатых свинцовых руд только в пределах лежащих частей Главного и Северо-Западного рудных тел.

Вышеизложенное, вероятно, свидетельствует об отсутствии значительной дифференциации и перераспределения рудного вещества на Горевском месторождении в результате метаморфизма.

Другими словами, наблюдаемая геохимическая картина пространственного распределения оруденения имеет, скорее всего, первичную природу, т.е. позиция богатых, существенно свинцовых руд является изначальной, и ее причины необходимо искать в самом процессе формирования месторождения.

Таким образом, особенности состава, морфологии и пространственного положения, структурно-текстурные признаки, положение в ряду минералого-геохимической зональности дают основание предполагать, что участки с богатыми свинцовыми рудами могли сформироваться непосредственно в месте разгрузки металлоносных растворов. То есть, одновременно с первично-слоистыми Pb–Zn рудами в течение одного рудогенного этапа. По нашему мнению, все специфические особенности обоих типов руд (состав, морфология, относительное положение в пространстве и др.) являются проявлением рудно-фациальной зональности единой гидротермальной системы: слоистые свинцово-цинковые относятся к дистальным, а брекчиевые существенно свинцовые — к ее проксимальным частям.

Современные зоны разгрузки гидротермальных металлоносных растворов (vent complex) приурочены к разломным структурам, в пределах которых породы трещиноваты, местами брекчированы (Tornos et al., 2015; Murton et al., 2019). В этом проявляется некоторое сходство с участками существенно свинцовых руд на Горевском месторождении — это трещиноватые, брекчированные породы с обильной рудной минерализацией. В непосредственной близости к рудоподводящим структурам мощность рудоносных отложений наибольшая, а по мере удаления от них уменьшается как количество и мощность отдельных рудных прослоев, так и общая мощность рудного тела (см. фиг. 12).

Главной рудоконтролирующей зоной принято считать Главный разлом глубокого заложения и оперяющие его структуры. Следы таких скрытых или захороненных структур установлены на многих крупных свинцово-цинковых месторождениях, залегающих в сланцевых и терригенно-карбонатных толщах (Campbell, Ethier, 1983; Dunster, McConachie, 1998; Large et al., 1998; McGoldrick and Large, 1998; Walters, 1998; Betts et al., 2004; Spinks et al., 2016; Викентьев и др., 2023). Предполагается два типа рассолов, способных транспортировать цинк и свинец: окисленные кислые или нейтральные растворы для месторождений, залегающих в карбонатных толщах, и кислые восстановленные растворы — для месторождений в силикатно-обломочных сланцевых бассейнах при температуре порядка 250°C (Cooke and Large, 1998; Cook et al., 2000).

⁴ Набоков Н.П., Вильдяев В.М. Отчет о результатах опытно-методических геохимических работ, проведенных партией №10/90 на Ангарской площади (Красноярский край) в 1990 г. ФГУНПП “Росгеолфонд” по Красноярскому краю, 1990ф.

На фоне общего регионального метаморфизма нижней ступени зеленосланцевой фации породы и руды Горевского месторождения претерпели более заметные преобразования в ходе последующих нескольких эпизодов тектогенеза, контактового термального метаморфизма и гидротермальной приразломной деятельности. При общем крутом моноклиальном залегании рудовмещающей толщи в рудном поле выделяется главная крутошарнирная S-образная складка, сближающая рассматриваемое месторождение в структурном плане с сильнодислоцированными месторождениями Брокен-Хилл (Австралия) и Текели (Казахстан) (Ярмоленко, 1969). В целом рудные залежи имеют сложное строение, нарушены зонами разломов и рассланцевания. Это привело к существенному изменению текстурного и структурного облика первичных руд, неоднократной перекристаллизации и частичному изменению минерального состава.

На месторождении в результате локальных пластических деформаций сложно построенных рудных пачек ритмично-слоистого строения в рудах достаточно широко проявлены полосчатогнейсовидные текстуры и в углеродисто-пелитовых прослоях рудной пачки — узловатые гранат-хлоритовые сланцы. Типоморфными для руд Горевского месторождения являются мелкообломочные “шариковые” текстуры. Подобные руды на многих метаморфизованных сульфидных месторождениях рассматриваются как продукты динамометаморфических процессов одного или нескольких этапов деформации. “Шариковые руды” широко распространены на Холоднинском месторождении, метаморфизованном в условиях эпидот-амфиболитовой фации (Ковалев, 1984), на динамометаморфизованных полиметаллических месторождениях Рудного Алтая — Иртышской зоны смятия (Старостин и др., 1981) и Северо-Восточной зоны смятия (Викентьев, 1987, 2004), а на глубоко метаморфизованных сульфидных месторождениях Швеции и Норвегии они описаны как “ball textures” или “durchbewegung” (Vokes, 1969; Geijer, 1971; Sen, Mukherjee, 1972; Sarkar, 1980), на сульфидных месторождениях Канады как “durchbewegt” и “inclusion ore” (Suffel et al., 1971; Paaki et al., 1995), на месторождении Брокен-Хилл в Австралии как “dactile breccias”, “mush ores” или “milingores” (Lawrence, 1973; Maiden, 1975; Walters, 1998).

Одной из главных предпосылок возникновения такого типа текстур является пестрота строения рудовмещающего разреза, где ритмично чередуются различные по своим физико-механическим свойствам прослои с сульфидами (галенит, сфалерит, пирротин или пирит), плотные более компетентные кремнистые, сидеритовые и менее компетентные углеродисто-пелитовые породы. В условиях динамометаморфизма фрагменты

дезинтегрированных более хрупких, компетентных прослоев “залечиваются” гораздо более пластичной сульфидной массой и углеродисто-слюдистыми агрегатами.

Процессы динамометаморфизма выражаются в заполнении наиболее пластичными сульфидами шарнирных частей складок, межслоевых полостей отслоений и различных структур разрывов. В целом же масштабы мобилизации сульфидного вещества на Горевском месторождении ограничены локальными зонами тектонических нарушений и дислокаций. Значительные масштабы перераспределения галенита описывались на интенсивно дислоцированных полиметаллических месторождениях, таких как Текели в Казахстане и Маунт-Айза в Австралии. Первое залегает в углеродисто-глинисто-кремнисто-карбонатных сланцах (Паталаха, 1977), второе локализовано в кварцитах и сланцах, смятых в крутые дисгармоничные складки (McDonald, 1970; McClay, 1979, 1983; Gemmell et al., 1998; Marshall et al., 2000).

В особую группу на Горевском месторождении выделяются скарноиды или скарноподобные образования. Их доля составляет от 3 до 5% общей массы измененных пород месторождения. Они рассматривались как продукты метаморфогенно-метасоматических процессов (Выдрин, Груздев, 1965) или как продукты динамометаморфизма локальных зон дислокаций (Кантор, 1976; Дистанов, Пономарев, 1980). Для них характерны порфирово-массивные, порфирово-полосчатые текстуры, кристаллически-зернистые, гелицитовые и радиально-лучистые структуры. Минеральный состав их достаточно широк: магнетит, амфибол, грюнерит, гранат (альмандин-спессартин), Васслюды, целзиан, гиаллофан, эллахерит, альбит, калиевый полевой шпат и более редкие монацит, рабдофан, ксенотим. В южной части месторождения скарны тяготеют к тектонически нарушенным зонам и ареалу даек долеритов и диабазов. На северном фланге скарноподобные образования связывают с выходами пород основного состава или с нескрытыми интрузивными породами (Балицкий, 1982). Скорее всего, это продукты контактового воздействия вскрытых и нескрытых интрузивных тел как основного, так и кислого состава.

Процессы термального воздействия даек основного состава на гидротермально-осадочные сульфидно-сидеритовые руды были детально рассмотрены на Озерном месторождении в Западном Забайкалье (Ковалев, 1975; Кочеткова, 1977; Ковалев, Бусленко, 1992). В экзоконтактовых зонах диабазовых порфиритов на расстоянии до десятка метров тонкозернистые руды превращены в крупнокристаллические массивные, бурундучно-полосчатые, порфировидные агрегаты, в составе которых присутствуют хлорит, амфибол, эпидот,

альбит, гранат, целзиан, магнетит и пирит. Иногда обломки перекристаллизованных руд с субграфическими и каплевидными структурами встречаются и в самих дайках. Воздействие даек основного состава на сульфидные руды, сопровождаемое перекристаллизацией и регенерацией вещества, описано на множестве полиметаллических месторождений различных формационных типов (Graham, 1968; Mookherjee, 1970; Lawrence, 1972; Паталаха, 1983; Горжевский и др., 1996; Vokes, 2000; Vikentyev et al., 2017).

Процессы структурной перестройки, перекристаллизации и окварцевания в зонах тектонических нарушений первичных гидротермально-осадочных руд сопровождались появлением новых минеральных парагенезисов. Химический состав их определяется особенностями состава рудовмещающих пород: обогащенность Ag, Sb и As обусловила появление группы редких минералов (сульфоарсениды, арсениды, антимониды, сульфоантимониды, блеклая руда, Pb–Fe–Cu–сульфосоли, серебросодержащие минералы, самородное серебро). Высокие концентрации Fe и Mn в рудовмещающих породах месторождения проявляются в высокой железиистости и марганцовистости нерудных минералов и магнетита. Повышенные концентрации бария привели к образованию группы барий-содержащих слюдястых минералов, гяллофана и целзиана. В биотите, мусковите и хлорите из рудных зон часто присутствует примесь цинка до 2.0 мас. %. В пластически деформированных сфалеритовых брекчиях обнаружены единичные зерна цинковой шпинели – ганита (мас. %): Al_2O_3 – 55.07; FeO – 6.29; Mg – 3.22; ZnO – 35.87. Широкое развитие ганита отмечалось и в рудах Холоднинского месторождения (Холоднинское ..., 1982). Структурная позиция этих минеральных ассоциаций, локальный характер проявления и тесная пространственная приуроченность к основным рудным залежам позволяют относить их к продуктам процессов регенерации.

Некоторые физико-химические особенности пострудного гидротермального прокварцевания

Состав газовых флюидных включений фиксирует два импульса гидротермальной активности. Флюиды одного из импульсов характеризуются параметрами типичных метаморфических флюидов – повышенной температурой 380–300°C, высоким давлением (4.2–2.7 кбар) и CO_2 – N_2 -составом высокоплотной газовой фазы (1.02–0.89 г/см³). Флюиды другого импульса характеризуются гораздо меньшим давлением (0.59–0.036 кбар), относительно низкой температурой 280–145°C. Газовая фаза характеризовалась низкой плотностью (0.21–0.02 г/см³) и N_2 – CH_4 -составом, их

циркуляцию возможно связать с регрессивной стадией метаморфизма либо с поздними постмагматическими процессами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Горевское полиметаллическое месторождение по значительному преобладанию галенита над сфалеритом (Pb : Zn – 3 : 1) в сочетании с выдающимися запасами (Pb + Zn 8.8 млн т, при средних содержаниях в рудах Pb – 6.15%, Zn – 2.02%, Ag – 55.4 г/т) – одно из крупнейших в мире. Другой его особенностью является существенно карбонатный состав рудовмещающих отложений, что принципиально отличает его от крупнейших свинцово-цинковых месторождений, приуроченных к глинистым, часто углеродистым, сланцам. Последнее является одной из их главных отличительных черт, на основании которой они были объединены в особый тип месторождений – Clastic-Dominated, нередко используемый в качестве синонима месторождений типа SEDEX. В то же время синседиментационный характер оруденения не позволяет классифицировать Горевское месторождение как эпигенетический MVT-тип.

Наиболее близким геолого-генетическим аналогом Горевского месторождения, а в его лице всех подобных объектов в Ангарском районе, являются месторождения Irish-type. Основные месторождения этого типа находятся в Ирландской полиметаллической провинции – Navan, Lisheen, Galmoy, Tynagh и Silvermines. Наиболее крупное из них – Navan, соизмеримо по запасам с Горевским и является одним из самых крупных Pb–Zn месторождений мира, размещенных в карбонатных породах. С месторождениями SEDEX-типа их сближает в первую очередь линзо- и пластообразная согласная с вмещающими отложениями морфология рудных залежей, а с MVT месторождениями – существенно карбонатный состав вмещающих пород и, на отдельных участках, секущие контакты.

Что касается генезиса месторождений Irish-type, то представления о нем в разные периоды их исследования менялись от эксгальационно-осадочного, синдиагенетического до эпигенетического. Однако последние результаты детального изучения состава пород и руд, включая разнообразную изотопию, и данные по датированию тектоно-стратиграфических событий показали применимость эксгальационно-синдиагенетической модели (Blakeman, 2002; Wilkinson, 2010; Andrew, 2019).

На Горевском месторождении по структурно-текстурным особенностям, соотношению основных пороодообразующих элементов (Si, Al, Fe, Ca, Mg), по ассоциации главных рудных и второстепенных минералов можно выделить как минимум

два типа оруденения. Первый представлен существенно цинковыми рудами слоистого и полосчатого строения с соотношением $Pb : Zn$ от 1 : 1 до 1 : 3, которые образуют согласные с вмещающими отложениями рудные тела. Руды этого типа, вероятно, образовались в придонных условиях открытого мелководного моря, сформировавшегося в процессе развития грабен-синклинали рифтогенной природы. Они содержат многие структурные признаки синхронного отложения в бассейне седиментации из придонных рудоносных растворов с относительно спокойным гидродинамическим режимом осадконакопления. Рудоотложение происходило в условиях интенсивного поступления в бассейн седиментации Fe , Mn , Pb , Zn , Sb и As в обстановке повышенного потенциала CO_2 и недостатка серы. Руды характеризуются отсутствием меди и золота и однородным тяжелым изотопным составом серы сульфидов. Они составляют основной объем полиметаллического оруденения Горевского месторождения и имеют гидротермально-осадочное синседиментационное происхождение. К ним относятся свинцово-цинковые руды, развитые в Северо-Западном, Западном и Маленьком рудных телах, а также в висячем боку Главного рудного тела.

Оруденение второго типа развито, главным образом, в лежащем боку Главного рудного тела, а также, по данным бурения, его можно выделить в лежащем боку центральной части Северо-Западного рудного тела. Оно представлено богатыми свинцовыми рудами с аномально высоким соотношением $Pb : Zn$ (в среднем около 7 : 1, достигая значений 20 : 1), которые часто имеют брекчиевое строение и секущее по отношению к вмещающим породам положение. Оба типа оруденения отличаются на минерально-вещественном уровне — по слагающим их ассоциациям рудных минералов, элементам-примесям, геохимическому облику и др. В пространстве они образуют скопления различной морфологии: гидротермально-осадочные руды слагают линзо- и пластообразные тела, гидротермально-метасоматические — близко изометричные. По наблюдаемым в ряде случаев их секущим взаимоотношениям, они разобщены во времени, однако на сегодня делать какие-либо заключения на этот счет преждевременно, т.к. этот вопрос требует дополнительных целенаправленных исследований.

Особенности состава, морфологии и пространственного положения руд, их структурно-текстурные признаки, место в ряду минералогеохимической зональности дают основание предполагать, что участки с богатыми свинцовыми рудами могли сформироваться непосредственно в месте разгрузки металлоносных растворов. Они могли образоваться одновременно с первично-слоистыми $Pb-Zn$ рудами в течение одного рудного этапа, а все специфические особенности обоих типов руд (вещественный состав,

морфология, относительное положение в пространстве и др.) — это проявление рудно-фациальной зональности единой гидротермальной системы: слоистые свинцово-цинковые относятся к дистальным, а брекчиевые существенно свинцовые — к ее проксимальным частям.

В дальнейшем основная масса руд и вмещающих пород претерпела преобразования в условиях верхов зеленосланцевой фации (биотитовая субфация) регионального метаморфизма и представлена слоистыми и ритмично-слоистыми текстурами и кристаллически-зернистыми, реликтовыми пелитоморфными и глобулярными структурами. Процессы динамотермального метаморфизма и рассланцевания, контактового термального метаморфизма и интенсивная приразломная складчатость обусловили появление в рудах новых текстурно-минеральных ассоциаций. В результате первичные ритмично-слоистые руды потеряли изначальные тонкие черты гидротермально-осадочного рудогенеза и превратились в различные полосчатые (полосчато-брекчиевидные, полосчато-вкрапленные, полосчато-прожилковые, сетчато-полосчатые) кристаллически-зернистые разности. По-видимому, этому этапу отвечают рудообразующие CO_2 - и N_2 -флюиды, характеризующиеся повышенной температурой 380–300°C и высоким давлением (4.2–2.7 кбар). Процессы пострудного преобразования руд сопровождались формированием регенерированной гнездово-прожилковой $Pb-Ag$ и $Sb-As$ минерализации, формированием комплекса $Fe-Mn-Ba$ -алюмосиликатных минералов и магнетита. Рудообразующие флюиды пострудного преобразования руд характеризовались $CO_2-N_2-CH_4$ и N_2-CH_4 составом газовой фазы, гораздо меньшим давлением (0.59–0.036 кбар), относительно низкой температурой 280–145°C. Несмотря на все пострудные изменения, слоистый характер значительной части оруденения отчетливо просматривается, а на отдельных, наименее метаморфизованных участках, отмечаются реликты ритмично-слоистых руд, имеющих в своем составе основные рудообразующие минералы в их первичном глобулярном виде.

Выявленное многообразие текстурно-минеральных ассоциаций первичных руд и преобразованных их разностей на Горевском месторождении необходимо учитывать при решении спорных вопросов генезиса месторождения. Предложенная модель формирования Горевского месторождения основана на фактическом материале, полученном за более чем 60-летний период его исследования, включая данные эксплуатационных работ, учитывает результаты изучения сходных месторождений в других полиметаллических провинциях мира, а также данные, полученные в ходе наблю-

дения за современными действующими гидротермальными системами.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы признательны Н.С. Карманову, А.Т. Титову, В.Н. Королюку, М.В. Хлестову и С.И. Шабалину за проведение аналитических работ, С.В. Сараеву за консультацию по вопросам литостратиграфии, а также П.А. Неволько за сохраненные и предоставленные коллекционные материалы предшествующих исследователей: В.Г. Пономарева, В.А. Акимцева, Э.Г. Дистанова, К.Р. Ковалева, А.И. Бусленко.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследования выполнены в рамках госзадания ИГМ СО РАН (№ 122041400237-8).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Акимцев В.А.* Минералого-геохимические особенности и условия формирования стратиформных полиметаллических руд Ангарского рудного района (Енисейский край). Автореф. дисс. ... канд. геол.-мин. наук. Новосибирск, 1992. 43 с.
- Атлас морфоструктур рудных полей (железо, полиметаллы, медь, золото и олово). Под ред. П.Ф. Иванкина. Л.: Недра, 1973. 164 с.
- Бакиш Ф.Б., Буйков А.А., Валента Г.П., Пельтек Е.И.* О структуре Горевского полиметаллического месторождения Енисейского края по геолого-геофизическим данным // Рудн. формации и месторожд. Сибири. Томск. 1979. С. 115–117.
- Балицкий Д.К.* О характере метаморфических преобразований рифейских отложений междуречья Ангары и Бол. Пита. Минералы и парагенезисы минералов горных пород и руд Красноярского края. Новосибирск: Наука, 1982. С. 61–64.
- Борисенко А.С.* Анализ солевого состава растворов газозово-жидких включений в минералах методом криометрии. Использование методов термобарогеохимии при поисках и изучении рудных месторождений. М.: Недра, 1982. С. 37–47.
- Бортников Н.С., Викентьев И.В.* Современное сульфидное полиметаллическое минералообразование в Мировом Океане // Геология рудных месторождений. 2005. № 1. С. 16–50.
- Бранднер Н.Х., Забиров Ю.А., Пономарев В.Г., Хохлов А.П.* Стратиформное свинцово-цинковое оруденение в карбонатных породах Енисейского края // Геология и геофизика. 1985. № 2. С. 58–63.
- Бровков Г.Н., Охупкин Н.А., Мирошников А.Е., Шерман М.Л.* Некоторые вопросы генезиса полиметаллических руд Енисейского края // Полиметаллическое оруденение Енисейского края. Труды КНИИГ-ГиМС, вып. 230. Красноярск. 1976. С. 99–116.
- Бровков Г.Н., Мирошников А.Е., Охупкин Н.А.* Генетические модели формаций полиметаллических месторождений Енисейского края // Генетические модели эндогенных рудных формаций. Т. 2. Новосибирск: Наука, 1983. С. 121–126.
- Бровков Г.Н., Охупкин Н.А., Голышев С.А., Мирошников А.Е.* Особенности изотопного состава серы свинцово-цинковых руд Енисейского края // Советская геология. 1979. № 8. С. 50–58.
- Бусленко А.И., Ковалев К.Р.* Генетические типы руд Звездного колчеданно-полиметаллического месторождения (Западное Забайкалье) // Вопросы генезиса стратиформных свинцово-цинковых месторождений Сибири. Труды ИГиГ СО АН СССР. 1977. Вып. 361. С. 180–190.
- Верниковский В.А., Метелкин Д.В., Верниковская А.Е., Матушкин Н.Ю., Казанский А.Ю., Кадильников П.И., Романова И.В., Вингейт М.Т.Д., Ларионов А.Н., Родионов Н.В.* Неопротерозойская тектоническая структура Енисейского края и формирование западной окраины Сибирского кратона на основе новых геологических, палеомагнитных и геохронологических данных // Геология и геофизика. 2016. Т. 57. № 1. С. 63–90.
- Вершковская О.В., Груздев В.С., Пиккат-Ордынская А.П.* Рассеянные элементы сфалерит-галенитового оруденения Нижнего Приангарья // В кн.: Геохимия и геология некоторых рудных месторождений. М.: Наука, 1970. С. 55–75.
- Викентьев И.В.* Метаморфогенные структуры Тишинского месторождения (Рудный Алтай) // Геология руд. месторождений 1987. № 1. С. 66–76.
- Викентьев И.В.* Условия формирования и метаморфизм колчеданных руд. М.: Научный мир, 2004. 338 с.
- Викентьев И.В., Дамдинов Б.Б., Минина О.Р., Спирина А.В., Дамдинова Л.Б.* Классификация процессов полиметаллического рудообразования и переходный VMS–SEDEX–MV-тип – пример гигантского Озерного месторождения в Забайкалье, Россия // Геология руд. месторождений. 2023. Т. 65. № 3. С. 201–236.
- Выдрин В.Н., Розникова А.П., Стеблева А.Т.* Соотношение сфалерит-галенитовой минерализации и даек долеритов // ДАН СССР. 1964. Т. 159. № 6. С. 1309–1312.
- Выдрин В.Н., Груздев В.С.* Эндогенные ореолы рассеяния цинково-свинцовых месторождений в Енисейском крае // Геология руд. месторождений. 1965. № 1. С. 45–57.
- Горжевский Д.И., Донец А.И., Конкин В.Д., Кудрявцева Н.Г., Кузнецова Т.П.* Регенерация сульфидных руд свинцово-цинковых месторождений // Руды и металлы. 1996. №1. С. 57–63.
- Гриненко Л.Н., Артеменко В.М., Пономарев В.Г.* Изотопный состав серы пород и руд Горевского свинцово-цинкового месторождения // Геохимия. 1984. № 5. С. 653–667.
- Груздев В.С., Зюзин Н.И., Кепежинская К.Б.* Хлориты цинково-свинцового месторождения Енисейского края // Геология и геофизика. 1967. № 1. С. 126–131.
- Дистанов Э.Г.* Колчеданно-полиметаллические месторождения Сибири // Новосибирск: Наука, 1977. 351с.
- Дистанов Э.Г., Ковалев К.Р.* Текстуры и структуры гидротермально-осадочных колчеданно-полиметаллических руд Озерного месторождения. Новосибирск: Наука, 1975. 174 с.
- Дистанов Э.Г., Пономарев В.Г.* О геолого-генетических особенностях Горевского свинцово-цинкового место-

рождения // Геология и геофизика. 1980. № 12. С. 27–36.

Дистанов Э.Г., Ковалев К.Р., Тарасова Р.С., Кочеткова К.В., Пономарев В.Г., Бусленко А.И., Гаськов И.В. Холоднинское колчеданно-полиметаллическое месторождение в докембрии Прибайкалья. Новосибирск: Наука, 1982. 207 с.

Дистанов Э.Г., Пономарев В.Г., Кочеткова К.В., Арзуманова Э.С. Типизация свинцово-цинковых руд месторождения для целей автогенераторной сепарации // Подготовка и переработка руд Горевского месторождения. Отв. ред. чл.-кор. АН СССР Н.И. Шемякин. Ин-тут горного дела СО РАН СССР. Новосибирск, 1980. С. 10–20.

Добрецов Н.Л., Кривцов А.И. Модели магматогенно-гидротермального и метаморфогенно-гидротермального рудонакопления и критерии их отличия. В кн: Критерии отличия метаморфогенных и магматогенных гидротермальных месторождений. Под. ред. Смирнова В.И. и Добрецова Н.Л. Новосибирск: Наука, 1985. С. 5–14.

Забиров Ю.А., Кириченко Н.И. Свинцово-цинковое оруденение карбонатных формаций Енисейского края // Рудная специализация осадочных формаций Сибири и Дальнего Востока. Владивосток, 1985. С. 80–85.

Кантор М.З. К вопросу скарнообразования в рудных полях Горевского и Усть-Ангарского свинцово-цинковых месторождений и Тырандинского редкометалльного полиметаллического рудопроявления // Полиметаллическое оруденение Енисейского края. Труды КНИИГГиМС, вып. 230. Красноярск, 1976. С. 67–72.

Качевский Л.К., Качевская Г.И., Грабовская Ж.М. Геологическая карта Енисейского края м-ба 1 : 500000. Красноярск: Красноярскгеологосъемка, 1998. 6 л.

Ковалев К.Р., Гаськов И.В., Перцева А.П. Изотопный состав серы колчеданно-полиметаллических руд месторождений азиатской части России // Геология руд. месторождений. 2000. Т. 42. № 2. С. 83–112.

Ковалев К.Р., Дистанов Э.Г., Перцева А.П. Вариации изотопного состава серы сульфидов при вулканогенно-осадочном рудообразовании и метаморфизме руд Озернинского рудного узла в Западном Забайкалье // Геология руд. месторождений. 1998. Т. 40. № 4. С. 336–353.

Ковалев К.Р. Контактный метаморфизм руд на Озерном колчеданно-полиметаллическом месторождении // Локальный метаморфизм руд. Новосибирск: Наука, Сиб. отд.-ние, 1975. С. 58–70.

Ковалев К.Р. Шариковые текстуры в метаморфизованных сульфидных рудах Холоднинского месторождения // Генетическая минералогия и геохимия рудных месторождений Сибири. Новосибирск: Наука, 1984. С. 86–99.

Ковалев К.Р., Бусленко А.И. Гидротермально-осадочный рудогенез и полиметаморфизм руд Озернинского рудного узла (Западное Забайкалье). Новосибирск: ВО “Наука”, Сибирская издательская фирма, 1992. 212 с.

Кочеткова К.В. Минералогия колчеданных свинцово-цинковых руд Озерного месторождения (Западное Забайкалье) // Вопросы генезиса стратиформных свин-

цово-цинковых месторождений Сибири. Труды ИГиГ СО АН СССР, 1977. Вып., 361. С. 118–180.

Кузнецов В.В., Пономарев В.Г., Акимцев В.А., Бабкин Е.С., Конкин В.Д., Кузнецова Т.П., Сараев С.В. Горевское свинцово-цинковое месторождение // Геология руд. месторождений. 1990. № 5. С. 3–18.

Кузнецов В.В., Конкин В.Д., Бабкин Е.А., Кузнецова Т.П., Кмитто Т.П., Кмитто Е.А. Геолого-генетическая модель цинково-свинцового месторождения Енисейского края // Генетические модели стратиформных месторождений свинца и цинка. Новосибирск: Наука. Сиб. Отд. АН СССР, 1991. С. 42–48.

Лиханов И.И., Ревердатто В.В. РТ-эволюция метаморфизма в Заангарье Енисейского края: петрологические и геодинамические следствия // Геология и геофизика. 2014. Т. 55. № 3. С. 385–416.

Металлоносные осадки Красного моря. М.: Наука, 1986. 288 с

Мирошников А.Е. Постседиментационные изменения докембрийских толщ Енисейского края и отношение к ним полиметаллического оруденения // Матер. по магматизму и металлогении Красноярского края. Труды КНИИГГиМС. Выпуск 241. Красноярск, 1976. С. 76–83.

Мирошников А.Е., Бровков Г.Н., Охалкин Н.А. Особенности окolorудных изменений пород // Полиметаллическое оруденение Енисейского края. Труды КНИИГГиМС. Вып. 230. Красноярск, 1976. С. 53–67.

Охалкин Н.А., Мирошников А.Е., Бровков Г.Н., Корнев Т.Я. Характеристика рудных объектов Енисейского полиметаллического пояса // Полиметаллическое оруденение Енисейского края. Труды КНИИГГиМС. Вып. 230. Красноярск, 1976. С. 38–53.

Охалкин Н.А. О связи свинцово-цинкового оруденения Енисейского края с магматизмом // Рудоносность и металлогения структур Енисейского края. Труды КНИИГГиМС. Вып. 145. Красноярск, 1974. С. 44–49.

Охалкин Н.А., Бутан В.А. О магматизме Горевского месторождения Енисейского края // Докл. АН СССР. 1989. Т. 307. № 4. С. 940–942.

Паталаха Г.Б. Контактный метаморфизм руд на стратиформных свинцово-цинковых месторождениях Джунгарского Алатау // Известия АН КазССР, серия геол. 1983. № 5. С. 58–68.

Пономарев В.Г., Акимцев В.А., Забиров Ю.А., Сараев С.В. Методологические принципы моделирования стратиформных свинцово-цинковых проявлений в терригенно-карбонатных толщах // Генетические модели стратиформных месторождений свинца и цинка. Новосибирск: Наука, Сиб. Отделение, 1991. С. 13–41.

Пономарев В.Г., Акимцев В.А., Сараев С.В., Дошлыщев Е.Ф. Изотопно-геохимические индикаторы стратиформного свинцово-цинкового оруденения Ангарского рудного района на Енисейском крае // Изотопные исследования процессов рудообразования. Новосибирск: Наука, Сиб. Отделение, 1991. С. 56–83.

Пономарев В.Г., Акимцев В.А., Бобров В.А., Шипицын Ю.Г., Степин А.Г. Радиоактивные и редкоземельные элементы в рудах и вмещающих породах Горевского месторождения // Генетическая минералогия и геохимия

- рудных месторождений Сибири. Новосибирск: Наука, 1984. С. 113–132.
- Пономарев В.Г.* Вопросы сингенетичности и эпигенетичности докембрийского свинцово-цинкового оруденения в Енисейском кряже // Природа растворов и источники рудообразующих веществ эндогенных месторождений. Новосибирск: Наука, 1979. С. 107–117.
- Пономарев В.Г., Пономарева Л.Г.* О природе граната в рудовмещающих толщах и рудах Горевского полиметаллического месторождения // Матер. по генетической и экспериментальной минералогии. Т. X. Новосибирск, 1976. С. 185–191.
- Попов В.М.* Проблема генезиса стратифицированных месторождений цветных металлов на примере Горевского свинцово-цинкового месторождения // Изв. АН КиргССР. 1969. № 2. С. 3–12.
- Просняков М.П., Володин Р.Н.* Некоторые особенности геологического строения Горевского свинцово-цинкового месторождения. Тр. ЦНИГРИ, вып. 43. М., 1962. С. 141–170.
- Сараев С.В.* Литология, геохимия и фациальный анализ рифейских отложений Морянихо-Меркурихинского рудного поля (Енисейский кряж). Бассейновый литогенез и минералогия. Новосибирск: ИГиГ СО РАН, 1989. С. 62–104.
- Сараев С.В.* Литология и геохимия рифейских отложений Горевского рудного поля (Енисейский кряж). Новосибирск: ИГиГ СО РАН. Ротапринт, 1990. С. 42–71.
- Сараев С.В.* Верхнерифейский глубоководный окраинный бассейн Енисейского кряжа // Российский фонд фундаментальных исследований в Сибирском регионе (земная кора и мантия). Т. 1. Иркутск. 1995. С. 75–76.
- Сердюк С. С., Макаров В. А., Кириленко В. А., Макаров И. В., Муромцев Е. А., Шведов Г. И.* Геология и колчеданно-полиметаллическое оруденение прогнозируемого Лимонитового месторождения Рассохинского рудного узла (Енисейский кряж) // Руды и металлы. 2021. № 4. С. 22–42.
- Старостин В.И., Лычаков В.А., Сергеева Н.Е.* Метаморфогенное перераспределение химических элементов колчеданно-полиметаллических руд // Геология руд. месторождений. 1981. № 4. С. 30–43.
- Структурно-минералогические критерии метаморфогенного оруденения (на примере колчеданных месторождений). Под ред. Н.Л. Добрецова. Новосибирск: Наука, 1987. 168 с.
- Шерман М.Л.* Горевское свинцово-цинковое месторождение / Геологические исследования в Красноярском крае и Тува. АССР. Кызыл: Тувинск. Книжн. Изд., 1968. С. 32–38.
- Шерман М.Л.* О парагенетической связи руд Горевского месторождения с комплексом малых интрузий основного состава и их возрасте // Рудоносность и геология Средней Сибири. Красноярск: кн. изд-во. 1971. С. 79–81.
- Шилов Л.И.* Об источнике свинца в стратиформном рудообразовании (по изотопным данным) // Стратиформные рудные месторождения. М.: Наука, 1987. С. 90–104.
- Ярмоленко А.С.* Крутошарнирные складки и оруденение на Горевском месторождении // Геол. разведка и методы изуч. месторожд. полезн. ископаемых. Алма-Ата, 1969. С. 76–77.
- Akinfiev, N.N., Diamond, L.W.* Thermodynamic model of aqueous $\text{CO}_2\text{--H}_2\text{O--NaCl}$ solutions from -22 to 100°C and from 0.1 to 100MPa . Fluid Phase Equilibria, 2010. V 295. P. 104–124.
<https://doi.org/10.1016/j.fluid.2010.04.007>
- Andrew C.J.* Silvermines Field Guide. Silvermines, County Tipperary Ireland, 2019. 28 pp.
- Anschutz P., Blanc G.* Chemical mass balances in metalliferous deposits from the Atlantis II Deep, Red Sea // Geochim. Cosmochim. Acta. 1995. V. 59. № 20. P. 4205–4218.
- Bakker, R.J.* Fluids: new software package to handle microthermometric data and to calculate isochors // Memoir Geol. Soc. 2001. V. 7. P. 23–25.
- Bakker, R.J.* AqSo_NaCl: Computer program to calculate p-T-V-x properties in the $\text{H}_2\text{O--NaCl}$ fluid system applied to fluid inclusion research and pore fluid calculation // Computers and Geosciences. 2018. V. 115. P. 122–133.
<https://doi.org/10.1016/j.cageo.2018.03.003>
- Belokonov G., Frenzel M., Priytkina N.S., Renno A.D., Makarov V., Gutzmer J.* Geology and genesis of the giant Gor-evskoe Pb–Zn–Ag deposit, Krasnoyarsk Territory, Russia // Econ. Geol. 2021. V. 116. № 3. P. 719–746.
- Betts P.G., Giles D., Lister G.S.* Aeromagnetic patterns of half-graben and basin inversion: implication for sediment-hosted massive sulfide Pb–Zn–Ag exploration // J. of Structural Geology. 2004. V. 26. P. 1137–1156.
- Blakeman R.J., Ashton J.H., Boyce A.J., Fallick A.E., Russell M.J.* Timing of interplay between hydrothermal and surface fluids in the Navan Zn+Pb orebody, Ireland: evidence from metal distribution trends, mineral textures, and $\delta^{34}\text{S}$ analyses // Econ. Geol. 2002. V. 97. P. 73–91.
- Bodnar R.J.* A method of calculating fluid inclusion volumes based on vapor bubblediameters and P-V-T-X properties of inclusion fluids // Econ. Geol. 1988. V. 78. P. 535–542.
- Bodnar, R.J., Vityk M.O.* Interpretation of microthermometric data for NaCl– H_2O fluid inclusions. De Vivo B, Frezzotti ML (eds) // Fluid inclusions in minerals: methods and applications. Virginia Polytechnic Inst State Univ, Blacksburg, VA, 1994. P. 117–131.
- Brown P.E.* FLINCOR: a microcomputer program for the reduction and investigation of fluid-inclusion data // Amer. Miner. 1989. V. 74. № 11–12. P. 1390–1393.
- Campbell F.A., Ethier V.G.* Environment of deposition of the Sullivan orebody // Miner. Deposita. 1983. V. 18. № 1. P. 39–55.
- Cooke D.R., Large R.R.* Practical uses of chemical modelling-defining new exploration targets in sedimentary basins // AG-SO J. of Australian Geology and Geophysics. 1998. V. 17. № 4. P. 259–275.
- Cooke D.R., Bull S.W., Large R.R., and McGoldrick P.J.* The importance of oxidized brines for the formation of Australian Proterozoic stratiform sediment-hosted Pb–Zn (Sedex) deposits // Econ. Geol. 2000. V. 95. № 1. P. –17.
- Distanov E.G., Kovalev K.R., Gaskov I.V., Baulina M.V.* The formation of Large Polymetallic Deposits of South Siberia According to Geodynamic Evolution of Paleoasian Ocean // J. of Geoscientific Research in Northeast Asia. 1999. V. 2. № 2. P. 154–159.

- Dunster J.N., McConachie B.A.* Tectono-sedimentary setting of the Lady Loretta Formation: synrift, sag or passive margin? // *Australian Journal of Earth Sciences*. 1998. V. 45. P. 89–92.
- Geijer P.* Sulfidic “ball ores” and the pebble dikes // *Sver. geol. undersokn., Arsbook, ser. C*. 1971. № 662. P. 1–29.
- Glasby G.P., Notsu K.* Submarine hydrothermal mineralization in the Okinawa Trough, SW of Japan: an overview // *Ore Geol. Rev.* 2003. V. 23. P. 299–339.
- Goodfellow W.D., Franklin J.M.* Geology, mineralogy, and chemistry of sediment hosted clastic massive sulfide in shallow cores, Middle Valley, northern Juan de Fuca Ridge // *Econ. Geol.* 1993. V. 88. № 8. P. 2037–2068.
- Goodfellow W.D., Lydon, J.W.* Sedimentary exhalative (SEDEX) deposits. Ed. *Goodfellow W.D.* / *Mineral Deposits of Canada: A Synthesis of Major Deposit Types, District Metallogeny, the Evolution of Geological Provinces, and Exploration Methods: Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division, Special Publication 2007. № 5. P. 163–183.*
- Graham R. A. F.* Effect of diabase dyke intrusion on sulfide minerals at Manitouwadge Ont. // *Can. J. Earth Sciences*. 1968. V. 5. № 3. P. 545–547.
- Gemmell J.B., Large R.R., Zaw K.* Paleozoic volcanic-hosted massive sulfide deposits // *AGSO J. of Australian Geology & Geophysics*. 1998. V. 17. № 4. P. 129–137.
- Hamilton J.M., Morris H.C., Bishop D.T., Owens O.E.* Geology of the Sullivan orebody Kimberley, B.C., Canada // *Geol., Assoc. Can. Spec. Pap.* 1982. № 25. P. 597–665.
- Heinrich C.A., Andrew A.S., Knill M.D.* Regional metamorphism and ore formation: evidence from stable isotopes and other fluid tracers // *Reviews in Economic Geology*. V. 11, Metamorphic and metamorphogenic ore deposits. 1998. P. 99–119.
- Huston D.L., Stevens B., Southgate P.N., Munling P., Wyborn L.* Australian Zn–Pb–Ag Ore-Forming Systems: A Review and Analysis // *Econ. Geol.* 2006. V. 101. P. 1117–1157.
- Ireland T., Bull S.W., Large R.R.* Mass flow sedimentology within the HYC Zn–Pb–Ag deposit, Northern Territory, Australia: evidence for sin-sedimentary ore genesis // *Miner. Deposita*. 2004. V. 39. P. 143–158.
- Kerkhof A. M.* The system CO₂–CH₄–N₂ in fluid inclusions: theoretical modelling and geological applications. Free University Press, Amsterdam, 1988. 206 p.
- Koski R.A., Lonsdale P. F., Shanks W.C., Bernadt M.E., Howe S.S.J.* Mineralogy and geochemistry of a sediment-hosted hydrothermal sulfide deposit from the SOUTHERN Trough of Guaymas Basin, Gulf of California // *Geophys. Res.* 1985. V. 90. № 8. P. 6695–6707.
- Kovalev K.R., Distanov E.G., Gaskov I.V., Naumov E.A., Akimov V.A.* The large Cu–Zn–Pb massive sulfide deposits of the Southern Siberia: ore depositional environments and Pb, S, C and O-isotopic data // *Metallogeny of the Pacific northwest: tectonics, magmatism and metallogeny of active continental margins. Proceedings of the INTERIM IAGOD Conference. Vladivostok, Dalnauka*, 2004. P. 476–479.
- Large R.R., Bull S.W., Cooke D.R., and McGoldrick P.J.* A genetic model for the HYC deposit, Australia: Based on regional sedimentology, geochemistry, and sulfide-sediment relationships // *Econ. Geol.* 1998. V. 93. P. 1345–1368.
- Large R.R.* Evidence for pulsed brine exhalation in the formation of giant Proterozoic stratiform sediment hosted Zn–Pb–Ag deposits of Northern Australia // *Mineral Deposits: Processes to Processing*. Stanley et al. (eds). 1999. Balkema, Rotterdam. P. 3–6.
- Lawrence L.J.* The thermal metamorphism of the pyritic sulfide ore // *Econ. Geol.* 1972. V. 67. № 4. P. 487–496.
- Lawrence L.J.* Polymetamorphism of the sulfide ore of Broken Hill, N.S.W., Australia // *Miner. Deposita*. 1973. V. 8. № 3. P. 211–236.
- Leach D.L., Sangster D.F., Kelley K.D., Large R.R., Garven G., Allen C.R., Gutzmer J., Walters S.* Sediment-hosted lead-zinc deposits. A global perspective. *Econ. Geol.*, 100th Ann Iss, 2005. P. 561–607.
- Lehrmann B., Stobbs I.J., Lusty P.A.J., Murton B.J.* Insights into extinct seafloor massive sulfide mounds at the TAG, Mid-Atlantic Ridge // *Minerals*. 2018. V. 8. P. 1–17.
- Likhanov I.I.; Nozhkin A.D.; Reverdatto V.V.; Kozlov P.S.* Grenvillian tectonic events and evolution of the Yenisei Ridge at the western margin of the Siberian craton. *Geotektonics*. 2014. № 48. P. 371–389. (In Russian)
- Maiden K.I.* High grade metamorphic structures in the Broken Hill orebody // *Proc. Australias. Inst. Mining and Met.* 1975. № 254. P. 19–27.
- Marshall B., Vokes F.M., Larocque A.C.L.* Regional metamorphic remobilisation: upgrading and formation of ore deposits. In: *Spry G., Marshall B., Vokes, F.M.* (eds) // *Metamorphosed and Metamorphogenic Ore Deposits. Reviews in Econ. Geol.* 2000. V. 11. P. 19–38.
- McClay K.R.* Folding in the silver-lead-zinc orebodies, Mount Isa, Australia // *Trans. Inst. Mining. Met.* 1979. V. 88. P. 5–14.
- McClay, K.R.* Structural evolution of the Sullivan Fe–Pb–Zn–Ag orebody, Kimberley, British Columbia, Canada // *Econ. Geol.* 1983. V. 78. P. 1398–1424.
- McDonald J.A.* Some effects of deformation on sulfide-rich layers in lead-zinc ore bodies Mount Isa, Queensland // *Econ. Geol.* 1970. V. 65. № 3. P. 273–357.
- McGoldrick P., Large R.R.* Proterozoic stratiform sediment-hosted Zn–Pb–Ag deposits // *AGSO J. of Australian & Geophysics*. 1998. V. 17. № 4. P. 189–196.
- Moncada D., Mutchler S., Nieto A., Reynolds T.J., Rimstidt J.D., Bodnar R.J.* Mineral textures and fluid inclusion petrography of the epithermal Ag–Au deposits at Guanajuato, Mexico: Application to exploration // *J. of Geochemical Exploration* 114, 2012. P. 20–35.
- Mookherjee A.* Dykes, sulphide deposits, and regional metamorphism: criteria for determining their time relationship // *Miner. Deposita*. 1970. V. 5. № 2. P. 120–144.
- Murton B.J., Lehrmann B., Dutrieux A.M., Martins S., Iglesia A.G., Stobbs I.J., Barriga F.J.A.S., Bialas J., Dannowski A., Vardy M.E., North L.J., Yeo I.A.L.M., Lusty P.A.J., Sven Petersen S.* Geological fate of seafloor massive sulphides at the TAG hydrothermal field (Mid-Atlantic Ridge) // *Ore Geol. Rev.* 2019. V. 107. P. 903–925.
- Paaki J., Lydon J.W., Del Bel Belluz N.* Durchbewegt sulphides, piercement structures, and gabbro dyke displacement in the vent complex of the Sullivan Pb–Zn deposits, British Columbia, in *Current Research 1995-A: Geological Survey of Canada*. P. 81–90.
- Painsi M., Diamond L.W., Akinfiev N.N.* Determination of molar volume and composition of CO₂–H₂O–NaCl fluid

- inclusions using combined microthermometric and optical measurements. Proceedings of XIII International Conference on Thermobarogeochemistry and IV th APIFIS Symposium. Moscow: IGM, 2008. V. 1. P. 43–46. <http://www.minsoc.ru/2008-1-7-0/>
- Sarkar S.C., Bhattacharyya P.K., Mukherjee A.D.* Evolution of sulfide ores of Saladipura, Rajasthan, India // *Economic Geology*. 1980. V. 75. P. 1152–1167.
- Sen R., Mukherjee A.D.* A re-appraisal of structural evolution and metamorphism in the Bleikvassli ore deposit, Nordland, North Norway // *Neues Jahrb. Mineral. Monatsh.* 1972. H 8. P. 375–383.
- Shadlun, T.N.* Ore textures as indicators of formation conditions of mineral parageneses in different types of stratiform lead-zinc deposits. In: *Ore Genesis. Spec. Publ. Society Geol. App. Miner. Dep.* 1982. V. 2. P. 607–624. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-68344-2_58
- Shanks Wayne C., Bischoff James I.* Geochemistry, sulfur isotope composition, and accumulation rates of Red Sea geothermal deposits // *Econ. Geol.* 1980. V. 75. № 3. P. 445–459.
- Spinks S. C., Schmid S., Pages A., Bluett J.* Evidence for SE-DEX-style mineralization in the 1.7 Ga Tawallah Group, McArthur Basin, Australia // *Ore Geol. Rev.* 2016. V. 76. P. 122–139.
- Spry P.G., Heimann A., Messerly J., Houk R.S.* Discrimination of metamorphic and metasomatic processes at the Broken Hill Pb–Zn–Ag deposit, Australia: rare earth element signatures of garnet-rich rocks // *Econ. Geol.* 2007. V. 102. P. 471–494.
- Suffel G.G., Hutchinson R.W., Ridler R.H.* Metamorphism of massive sulfides at Manitouwadge, Ontario, Canada // *Proc. IMA-IGOD Meetings. Tokio- Kyoto, 1970. IAGOD Vol. Spec. Issure № 3. Int. Assoc. Genesis Ore Deposits. Tokio, 1971. P. 235–240.*
- Tornos F., Peter J.M., Allen R., Conde C.* Controls on the siting and style of volcanogenic massive sulphide deposits // *Ore Geol. Revi.* 2015. V. 68. P. 142–163.
- Vernikovskiy V.A., Vernikovskaya A.E.* Tectonics and evolution of the granitoid magmatism in the Yenisei Ridge // *Russ. Geol. Geophys.* 2006. V. 47. P. 35–52. (In Russian)
- Vikentyev I.V., Belogub E.V., Novoselov K.A., Moloshag V.P.* Metamorphism of volcanogenic massive sulphide deposits in the Urals. *Ore geology* // *Ore Geol. Rev.* 2017. V. 85. P. 30–63.
- Vokes F. M.* A review of the metamorphism of sulphide deposits // *Earth-Sci. Rev.* 1969. V. 5. № 2. P. 99–143.
- Vokes, F.M.* Ores and metamorphism: introduction and historical perspectives / *Spry P.G., Marshall B., and Vokes F.M.*, eds. *Metamorphosed and Metamorphogenic Ore Deposits: Rev.* // *Econ. Geol.* 2000. V. 11. P. 1–18.
- Walters S.D.* Broken-Hill-type deposits // *AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics.* 1998. V. 17. № 4. P. 229–237.
- Webber A.P., Roberts S., Murton B.J., Hodgkinson M.R.S.* Geology, sulfide geochemistry and supercritical venting at the Beebe Hydrothermal Vent Field, Cayman Trough // *Geochemistry, Geophysics, Geosystems.* 2015. V. 16. P. 2661–2678.
- Wilkinson J.J.* A Review of fluid inclusion constraints on mineralization in the Irish Ore Field and implications for the genesis of sediment-hosted Zn–Pb deposits // *Econ. Geol.* 2010. V. 105. P. 417–442.
- Zierenberg R.A., Kosko R.A., Morton J.L. Bouse R.M.* Genesis of massive sulfide deposits on a sediment covered spreading center, Escanaba Trough, southern Gorda Ridge // *Econ. Geol.* 1993. V. 88. № 8. P. 2069–2098.
- Yoshizumi R., Miyoshi Y., Ishibashi J.* The characteristics of the seafloor massive sulfide deposits at the Hakurei site in the Izena Hole, the Middle Okinawa Trough // *Subseafloor biosphere linked to hydrothermal systems: TAIGA Concept.*, *Ishibashi J.* (eds.), Springer, 2014. P. 561–565.