



ОСОБЕННОСТИ МЕТАЛЛОГЕНИИ СВИНЦА И ЦИНКА ЕНИСЕЙСКОГО КРЯЖА

Собрана информация об известных месторождениях, рудопроявлениях и пунктах минерализации свинца и цинка Енисейского кряжа. Обобщены последние данные по геологии и металлогении свинца и цинка региона. Дана краткая характеристика объектов и проведена их рудно-формационная типизация. Было рассмотрено положение объектов в стратиграфическом разрезе, связь с геологическими формациями и тектоническими структурами с последующими выводами о закономерностях размещения объектов и металлогенической зональности территории. Проанализировано положение полиметаллического оруденения в региональных геофизических и геохимических полях, что позволило выявить тренд свинец → цинк → барий от Ишимбинского разлома к Сибирской платформе и возможность обнаружения промышленно значимой полиметаллической минерализации в восточной части Енисейского кряжа.

Ключевые слова: Енисейский кряж, Ангарский рудный район, полиметаллические месторождения, тектонические структуры в гравитационном поле, закономерности распределения, металлогеническая зональность, свинец, цинк.

Енисейский кряж – одна из ведущих минерально-сырьевых провинций России с большим разнообразием полезных ископаемых (Au, Ag, Pb, Zn, Fe, Mn, Sb и др.). С открытием в 1956 г. Горевского свинцово-цинкового месторождения и его последующим изучением и освоением Енисейский кряж начинает рассматриваться как потенциально крупная полиметаллическая провинция. На сегодняшний день выявлены и зарегистрированы 44 свинцово-цинковых объекта в статусе месторождений и рудопроявлений, а также более 200 пунктов полиметаллической минерализации.

Пик открытий и интенсивного изучения полиметаллических объектов пришёлся на последнюю треть двадцатого столетия. В последние пять лет интерес к поискам и разведке полиметаллических объектов значительно вырос, что определило запрос на обобщение данных по Pb-Zn объектам региона с учётом новых сведений по геологии, геохимии и рудоносности.

Цель настоящего исследования – обобщение последних данных по геологии и металлогении свинца и цинка Енисейского кряжа. В основу статьи положен авторский материал, полученный при проведении поисковых и тематических работ на Енисейском кряже, а также данные из фондовых и опубликованных источников [10–12, 14, 18, 22]. Собрана информация по всем известным месторождениям, рудопроявлениям и пунктам минерализации свинца и цинка региона, проведена их рудно-формационная типизация, рассмотрено положение в стратиграфическом разрезе, региональных геофизических и геохимических полях, прослежена связь с геологическими формациями, тектоническими структурами.

Макеев Станислав Михайлович

кандидат геолого-минералогических наук
доцент ВАК, доцент кафедры геологии
месторождений и методики разведки
smmakeev@mail.ru

Муромцев Егор Алексеевич

аспирант
EgorMuromtsevSib@gmail.com

Макаров Владимир Александрович

доктор геолого-минералогических наук,
профессор
директор, заведующий кафедрой геологии
месторождений и методики разведки
VMakarov@sfu-kras.ru

Белоконов Георгий Владимирович

аспирант
gbelokonov@gmail.com

Институт горного дела, геологии
и геотехнологий, Сибирский Федеральный
университет,
г. Красноярск

Типы полиметаллических месторождений Енисейского кряжа. Проблеме геологии полиметаллических месторождений и металлогении Енисейского кряжа посвящено много публикаций [2, 3, 9, 13, 15, 16]. Вопросы генезиса и рудно-формационной типизации объектов в различное время поднимались рядом авторов [3, 7, 24]. Большой фактический материал по проблеме накоплен в геологических фондах в результате проведения многочисленных научных и тематических исследований (Г. Н. Бровков, Л. В. Ли, 1984 г.; И. П. Качало, 1989 г.; М. М. Лапшин, 1990 г.; А. Г. Неклюдов, 1995 г.; А. А. Ладынин, 2001 г.; А. Ф. Целыковский, 2004 г. и др.).

Точки зрения на генезис промышленного свинцово-цинкового оруденения на Енисейском кряже с течением времени менялись от магматогенно-гидротермальной гипотезы [1, 6, 29] до осадочной [25] и метаморфогенной [8].

В разное время предлагались различные варианты рудно-формационной типизации полиметаллических объектов (таблица).

Как видно из таблицы, однозначно выделяются четыре основных типа полиметаллических объектов:

- цинк-свинцовое оруденение в терригенно-карбонатных формациях (Горевский тип), он же описывается некоторыми авторами [12] как свинцово-цинковая минерализация в кремнисто-кар-

бонатных породах (Атасуйский геолого-промышленный тип). К. В. Лобанов, В. В. Некос [17], проводя аналогии с зарубежными полиметаллическими месторождениями [30, 31], относят Горевское месторождение к типу SEDEX;

- свинцово-цинковое оруденение в карбонатных (рифогенных) формациях, где Pb-Zn оруденение контролируется биогенными и рифогенными постройками (Морянихинский тип), или, как его ещё называют, свинцово-цинковое оруденение в карбонатных (рифогенных) породах – Миргалимсайский геолого-промышленный тип [12];

- колчеданно-полиметаллическое оруденение в углеродистых сланцевых толщах (Рассохинский тип), или Филизчайский геолого-промышленный тип [12];

- полиметаллическая формация в существенно силикатных средах. Внутри данной формации Г. Н. Бровковым, Л. В. Ли выделены шесть субформаций (полиметаллическая, порфировая, барит-полиметаллическая, полиметаллическая в карбонатно-терригенных средах, колчеданно-полиметаллическая, медно-колчеданная (цинк-медно-колчеданная)).

На основании фондовых работ и опубликованных данных [12, 23, 27] проведена типизация всех выявленных полиметаллических месторождений, проявлений и пунктов минерализации, составлены их кадастр и схема размещения.

КЛАССИФИКАЦИЯ ФОРМАЦИОННЫХ ТИПОВ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ЕНИСЕЙСКОГО КРЯЖА

Автор, год	Формации полиметаллических объектов			
Бровков Г. Н., Ли Л. В., 1984	Свинцово-цинковая в карбонатных породах		Стратиформная колчеданная свинцово-цинковая черносланцевая	Полиметаллическая в существенно силикатных породах
Качало И. П., 1989	Горевский тип	Тенего-Токминский тип	Стратиформный колчеданно-свинцово-цинковый в чёрных сланцах	-
Целыковский А. Ф., 2004	Свинцово-цинковая в кремнисто-карбонатных породах (Горевский геолого-промышленный тип)	Свинцово-цинковая в карбонатных (рифогенных) породах (Морянихинский тип)	Колчеданно-полиметаллическая в углеродистых породах (Рассохинский тип)	-
Классификация, принятая в настоящей работе	Горевский тип (цинк-свинцовая в кремнисто-карбонатных породах)	Морянихинский тип (свинцово-цинковая в карбонатных (рифогенных) породах)	Рассохинский тип (колчеданно-полиметаллическая в углеродистых породах)	Формация полиметаллическая в существенно силикатных породах

Размещение полиметаллических объектов различных формационных типов в геологических структурах Енисейского кряжа отражено на рис. 1. Ниже дана краткая характеристика этих типов.

Оруденение Горевского типа. Этот тип оруденения впервые упоминается в отчёте И. П. Качало в 1989 г. и по многим признакам является подразделением ранее выделенной Г. Н. Бровковым и Л. В. Ли свинцово-цинковой формации. Горевский тип полиметаллического оруденения охарактеризован по одноимённому месторождению. К данному типу относят ряд проявлений Ангарского рудного узла – Картичное, Рудаковское, Долгое, Заречное. К Горевскому типу относят локализованные в карбонатных отложениях объекты с существенным преобладанием свинца над цинком (отношение $Pb:Zn > 5$).

Рудовмещающими образованиями оруденения Горевского типа являются горевско-сухохребтинская вулканогенно-карбонатно-терригенная и орловская вулканогенно-терригенно-сланцево-карбонатная формации. Вмещающие породы – чёрные сланцы, чёрные карбонатные мергели, известняки, доломиты, пепловые туффиты, силициты, сидериты, анкериты. Для месторождения характерны наличие от мелкой до тонкой слоистости карбонатных и глинистых пород, присутствие гидротермально-осадочных образований (сидериты, серициты), за пределами месторождения отмечается заметное упрощение состава пород.

Рудовмещающая толща формировалась в палеотектонической обстановке, представляющей собой часть мелководного бассейна с системой локальных впадин. Рудные тела приурочены к крыльям усложнённых синклиналиных складок 4–5 порядков, аномально ориентированных относительно генерального направления структур кряжа с выраженным повышенным динамотермальным метаморфизмом пород. Как правило, тела расположены в пределах пересечения и сопряжения разломов северо-восточного и северо-западного, а также меридиональных направлений.

В пределах рудовмещающей толщи отмечаются секущие дайки метадолеритов, неравномерно распределённые по месторождению. Среди них выделяются как дорудные и сорудные, так и пострудные [28]. Морфологически рудные тела представляют собой линзообразные залежи со сложным внутренним строением, реликтивными участками дроблённых и будинированных слоистых

серицит-сидеритовых и сидеритовых пород. Отмечены случаи перехода с глубиной линзовидных тел в столбообразные. Соотношение основных рудных тел длина / протяжённость по падению / протяжённость по мощности – (1–2) / 1 / (0,06–0,14).

Основные рудные минералы – галенит, сфалерит, пирротин, кварц, сидерит, анкерит; сопутствующие – пирит, магнетит, бурновит, буланжерит, халькопирит, арсенопирит, железистый биотит, тюрингит и др. Для данной рудной формации характерны преобладание существенно свинцовых руд и наличие существенно пирротиновых.

В рудных телах проявлена зональность, выраженная в развитии существенно свинцовых руд в лежащем боку рудной зоны, свинцово-цинковых в висячем, пирротиновых на наиболее низких горизонтах. Отношение средних содержаний $Pb:Zn$ изменяется от 1:0,04 (лежащий бок) до 1:1,56 (висячий бок). Руды прожилково-вкрапленные с широким развитием брекчиевых текстур при отсутствии рудокластов. На отдельных участках локально отмечаются сплошные, существенно галенитовые руды.

Околорудные изменения пород проявлены неравномерно: относительно слабо около контактов со сланцами, значительно – в известняках (доломитизация, анкеритизация, в меньшей степени сидеритизация и окварцевание). Отдельные рудные тела окаймлены маломощной сидерит-анкеритовой оторочкой. Внутри контуров рудных тел местами проявлены интенсивная сидеритизация и окварцевание.

Оруденение Морянихинского типа. В отличие от Горевского типа Морянихинский включает в себя значительное число мелких объектов. В 2004 г. А. Ф. Целыковский описал оруденение этого типа как свинцово-цинковую формацию в карбонатных (рифогенных) породах, в качестве примеров рудопроявлений которой выступают объекты Меркурихо-Морянихинского рудного узла (Меркурихинское, Анатолевское, Петрищевское рудопроявления).

Рудовмещающими образованиями Морянихинского типа являются горевско-сухохребтинская вулканогенно-карбонатно-терригенная, тунгусикская терригенно-карбонатно-сланцевая и кординская терригенно-сланцевая формации.

Состав пород относительно простой: кристаллически-зернистые известняки, водорослевые из-

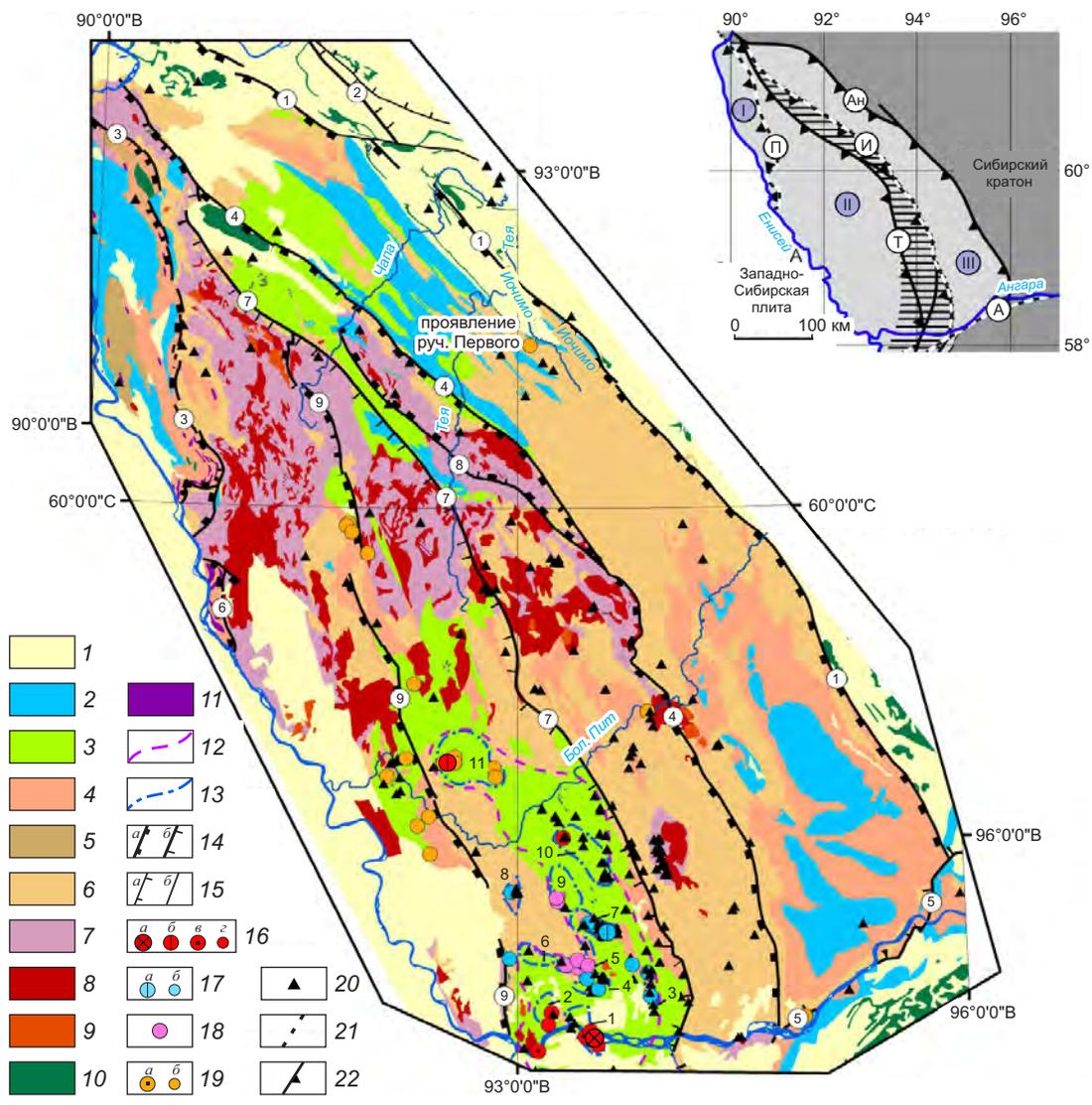


Рис. 1. РАЗМЕЩЕНИЕ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ В ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СТРУКТУРАХ ЕНИСЕЙСКОГО КРЯЖА (ПО И. П. КАЧАЛО, 1970 Г., С ДОПОЛНЕНИЯМИ) И ГРАНИЦЫ ОСНОВНЫХ ТЕКТОНИЧЕСКИХ БЛОКОВ, ПО [4] (ВРЕЗКА):

на карте: геологические формации: 1 – палеозоя, мезозоя и кайнозоя объединённые, 2 – карбонатно-песчано-алевролитно-аргиллитовая, 3 – терригенно-карбонатно-вулканогенная, 4 – терригенно-карбонатная (известняки, доломиты), 5 – терригенно-вулканогенная, 6 – сланцевая, 7 – дорифейская кристаллосланцевая; интрузивные комплексы: 8 – кислого состава, 9 – среднего, 10 – основного, 11 – ультраосновного; 12 – границы Ангарского рудного района; 13 – рудные узлы (Pb, Zn): 1 – Горевский, 2 – Блохинский, 3 – Петрищевский, 4 – Долгинский, 5 – Рассохинский, 6 – Верхне-Рудиковский, 7 – Меркурихо-Морянихинский, 8 – Рудиковский, 9 – Пихтово-Дауглинский, 10 – Токминский, 11 – Тенегинский; тектонические нарушения: 14 – главные (а – надвиги, б – взбросы), 15 – прочие (а – сбросы, б – неустановленной морфологии); рудные объекты: 16 – Горевский тип (а – крупное месторождение, б – среднее непромышленное месторождение, в – мелкое непромышленное месторождение, г – рудопроявление), 17 – Морянихинский тип (а – среднее непромышленное месторождение, б – рудопроявление), 18 – Рассохинский тип (рудопроявление), 19 – в силикатных средах (а – мелкое непромышленное месторождение, б – рудопроявление), 20 – пункты минерализации неустановленного формационного типа; зоны разломов и их номера (цифры в кружках): 1 – Ангаро-Бахтинский, 2 – Имбакский, 3 – Исаковский, 4 – Ишимбинский, 5 – Нижнеангарский, 6 – Приенисейский, 7 – Татарский, 8 – Тейско-Уволжский, 9 – Усть-Ангарский; на врезке: 21 – террейны (римские цифры в кружках): I – Исаковский, II – Центрально-Ангарский, III – Восточно-Ангарский; 22 – главнейшие разломы: Ан – Ангаро-Бахтинский, И – Ишимбинский, П – Приенисейский, Т – Татарский, А – Нижнеангарский

вестняки и доломиты, анкериты; спорадически отмечаются сланцы (кварц-серицитовые, углеродсодержащие, углеродистые), карбонатизированные туфы, туффиты. Нередко отмечаются биогермные массивы карбонатных пород.

Палеотектоническая обстановка формирования рудовмещающих формаций представляла собой относительно стабильные приподнятые мелководные площади внутренних районов геосинклинального морского бассейна, прилегающие к конседиментационным поднятиям и периодически вовлекающиеся в прогибания, локализованные вдоль биогенных зон осадочных образований повышенной проницаемости. Отмечаются редкие вулканические постройки центрального типа.

Рудопроявления локализованы в бортовых частях синклинальных структур и осложняющих их антиклинальных поднятий на интервалах пересечения разноориентированными разломами толщ существенно карбонатных пород. На площади размещения месторождений и рудопроявлений постоянно присутствуют дайки основного состава, иногда единичные трещинные интрузии и дайки гранит-порфиоров. Взаимоотношения этих магматических образований с оруденением не расшифрованы, и пока можно говорить лишь об имевшей место относительно повышенной эндогенной активности в ареалах проявления оруденения.

Рудные тела представляют собой линзовидные и лентовидные залежи неустойчивой мощности (от 1–2 до 20 м) протяжённостью до нескольких сотен метров (максимум до 800 м) обычно без отчётливых границ. Число рудных тел от 1–2 до 4–5. Отношения длины и мощности рудных тел изменчивы, но большей частью укладываются в пределы (60:1)–(170:1). Максимальная (из установленных) протяжённость по падению около 600 м.

Главные минералы руд – сфалерит, галенит, доломит, анкерит, пирит, спорадически встречается сидерит; аксессуарные – халькопирит, пирротин, иногда флюорит. Отчётливо преобладают существенно сфалеритовые руды с отношением Pb:Zn 1:2 и менее. Среди текстур руд преобладают вкрапленные и прожилково-вкрапленные, иногда неотчётливо полосчатые. Слоистые текстуры руд не отмечены.

В непосредственной близости от рудных зон наблюдаются доломитизация и анкеритизация из-

вестняков, а также слабое окварцевание. Иногда фиксируются мелкие карбонатные, кварц-карбонатные и кварцевые прожилки, отмечаются редкие пострудные жилы и прожилки с флюоритом.

Оруденение Рассохинского типа. К объектам этого типа относят проявления Рассохинского рудного поля (участки Линейный, Лимонитовый), локализованные в углеродистых сланцах. Главная особенность объектов – преобладание существенно-цинковых руд над свинцовыми. Рудовмещающие отложения – горевско-сухохребтинская вулканогенно-карбонатно-терригенная и тунгусикская терригенно-карбонатно-сланцевая формации.

Вмещающие рудные тела породные ассоциации обогащены углеродистым материалом и пиритом. По составу это слоистые кварц-серицитовые сланцы, пласты и линзы кварц-серицитовых и серицит-кварцевых апотуфовых (?) пород; спорадически отмечаются слои среднеобломочных туфов, силицитов, полимиктовых и вулканических песчаников и гравелитов.

Палеообстановка формирования рудоносных отложений – палеопроби, осложнённые конседиментационными разломами, вдоль которых локально проявлялся вулканизм и приразломные ложбины околвулканической зоны, где накапливались углеродистые глинистые отложения с высоким содержанием пирита.

Магматизм на площади рудного поля представлен дайками основного состава, сложенными брекчиями, некками, единичными потоками лав андезито-базальтов, а также тел крупнообломочных туфов.

Рудные тела размещаются в осложнённых дополнительных складках бортовых частях синклиналей на участках пересечения разнонаправленных разломов. Тела залегают конформно в насыщенных пиритом углеродистых сланцах и апотуфовых сланцеподобных породах и обычно карбонатизированы со стороны лежащего бока. Морфологически колчеданные руды представлены линзами и пластообразными телами мощностью от первых метров до 30 м и протяжённостью от нескольких сотен метров до километра и более. Состав руд значительно изменяется от пиритов с низкими (около 1–1,5 % и менее) содержаниями свинца и цинка до кондиционных колчеданных галенит-сфалеритовых руд. Локальный структурный контроль оруденения выражен в

наиболее масштабном развитии собственно продуктивной минеральной ассоциации на участках пересечения колчеданных тел разломами и проявления гидротермальных процессов.

В рудах господствует пирит. Суммарное содержание галенита и сфалерита (явно преобладает) обычно не превышает 10 %. Примесь меди и других металлов незначительна. В пределах собственно рудных интервалов обычно устанавливаются две минеральные ассоциации: ранняя пиритовая со сфалеритом (стратифицированная) и поздняя галенит-сфалерит-пиритовая (наложенная эпигенетическая). Галенит и сфалерит поздней ассоциации характеризуются вкрапленным и прожилково-вкрапленным распределением, иногда полосовидным. Нерудные минералы – кварц, анкерит, сидерит, слюды, хлорит, углеродистое вещество.

Изменения рудовмещающих сланцев, как правило, слабые. Отмечаются окварцевание, серицитизация, сидеритизация, локально также флогопитизация. Практически на всех объектах руды подверглись окислению на глубину от первых метров до 150–250 м с образованием резко обеднённых свинцом и цинком бурых железняков.

Геологическая позиция оруденения и минеральный состав руд свидетельствуют об их двухэтапном формировании: стратифицированные литоидные пирититы (с примесью сфалерита) являются гидротермально-осадочными продуктами, поздняя собственно продуктивная ассоциация (пирит, сфалерит, галенит) имеет наложенное гидротермальное происхождение.

Существует также точка зрения о гидротермально-осадочной природе сульфидных тел и более поздней перегруппировке материала с образованием рудных концентраций свинца и цинка.

Полиметаллическое оруденение в силикатных средах. К данному типу вслед за Г. Н. Бровковым и Л. В. Ли (отчёт 1984 г.) мы относим слабоизученные рудопроявления свинцово-цинковой специализации, характерной чертой которых является более многоэлементный состав руд и более многообразные породные связи по сравнению с объектами трёх первых формаций. В различных сочетаниях содержатся Cu, Ba, Au. Проявления данного формационного типа локализованы в сланцах, вулканитах, дайках, среди вулканогенно-сланцевых

и карбонатно-вулканогенно-сланцевых породных ассоциаций, намного реже в известняках. Объекты формации тяготеют к вороговской терригенно-карбонатной, орловской вулканогенно-терригенно-сланцево-карбонатной, тунгусикской терригенно-карбонатно-сланцевой формациям, а также к глушихинской формации умеренно-щелочных лейкогранитов. Высокая степень неоднородности рудно-формационного состава и породных ассоциаций делает эту полиметаллическую формацию наиболее переменной из выделенных выше. Слабая степень изученности их геологической позиции и минерального состава не позволяет согласовать их с классификацией рудных формаций, принятой в «Металлогеническом кодексе» [21]. Около двух третей рудопроявлений этого формационного типа локализованы в северной (Вороговской) половине региона.

Полиметаллическая субформация в карбонатно-вулканогенно-терригенных средах является одной из наиболее перспективных. Особый интерес в этой группе вызывают золотосодержащие объекты. В эту субформацию входят Тырадинское, Подлунное, Афанасьевское, Севернинское, Среднекутукасское, Чернореченское, Гремяхинское, Попутнинское, Таптогайское, Сухореченское, Блохиное 2, Каргинское, Широкинское рудопроявления.

Явное большинство объектов располагается в пределах орловской вулканогенно-терригенно-сланцево-карбонатной формации, затем по убыванию количества объектов идёт тунгусикская терригенно-карбонатно-сланцевая формация.

Входящая в субформацию большая группа рудопроявлений при всём разнообразии геологического положения, состава и морфологии рудных тел характеризуется отчётливо выраженным тяготением последних к вулканогенным породам, вулканогенно-сланцевым и карбонатно-вулканогенно-сланцевым породным ассоциациям при резко ограниченных связях с известняками и доломитами.

Большинство объектов находится в южной части Исаковского и северной половине Ангаро-Тисского синклиналиев, где активнее проявлены дифференцированный вулканизм и малоглубинный геосинклинальный магматизм байкальского тектоно-магматического цикла. Одновременно устанавливается отчётливое тяготение многих объектов к тектоно-магматическим зонам диагональ-

ных направлений. Лишь единичные объекты (Тырадинское рудопроявление) локализованы в зоне экзоконтакта гранитоидных интрузий. Оруденение нередко пространственно и парагенетически связано с дайками основного и кислого составов.

Морфологические типы оруденения разнообразны: минерализованные зоны дробления и гидротермально-переработанные участки даек, зоны прожилково-вкрапленных руд в туфах, оруденелые кварцевые жилы и др. Руды главным образом вкрапленные и прожилково-вкрапленные с широкими вариациями содержания сульфидов. Главные минералы руд – пирит, сфалерит, галенит, второстепенные – халькопирит, спорадически золото. Обычные нерудные минералы – кварц, серицит, хлорит, сидерит, анкерит.

Рудовмещающие породы в различной степени подвержены окварцеванию, серицитизации, хлоритизации, карбонатизации, амфиболизации.

Среди рудопроявлений субформации преобладают вулканогенные гидротермальные образования, роль гидротермально-осадочных руд явно второстепенная.

В полиметаллическую порфиоровую субформацию входят проявления Каменское, Заостровное, Буреломное. Промышленная значимость этих проявлений в данный момент не ясна. Тела порфиров располагаются в полях развития пород орловской вулканогенно-терригенно-сланцево-карбонатной формации на участках пересечения разнонаправленных разломов. Отличительная особенность рудопроявлений данной субформации – локализация оруденения в контурах даек и мелких тел кварцевых порфиров, кварцевых альбитофиров и гранит-порфиров, причём оруденение иногда захватывает и непосредственно прилегающие гидротермально изменённые породы экзоконтакта.

Оруденение вкрапленное и прожилково-вкрапленное. В минерализованных порфирах установлены повышенные концентрации Cu, Pb, Zn; спорадически отмечаются As, Mo, Ag и другие металлы. Под воздействием гидротерм порфиры преобразованы в кварц-серицитовые породы; локально фиксируется примесь парагонита, значительное количество турмалина.

Колчеданно-полиметаллическая субформация. Объекты колчеданно-полиметаллической субформации представлены Устьмихеевским, Верхнекутукасским, Левокутукасским, Захребтинским,

Верхнетисским, Тяглинским, Родниковским, Верхнелесным рудопроявлениями.

Рудовмещающими являются тунгусикская терригенно-карбонатно-сланцевая и глушихинская умеренно-щелочная гранитовая формации. Рудные тела локализуются в пачках вулканогенно-терригенных пород, среди которых велика роль лав и туфов кислого и основного составов. Отмечается приуроченность рудопроявлений к северной части Ангаро-Тисского и большей части Исаковского синклиналиев.

Оруденение преимущественно стратиформное, руды слагают линзы и пластообразные залежи протяжённостью от нескольких десятков до нескольких сотен метров при мощности до 8 м. Реже отмечаются явно эпигенетические образования, представляющие собой минерализованные зоны дробления. Руды массивные и линзовидно-слоистые, местами сочетаются с прожилково-вкрапленными. В составе руд господствует пирит (до 70–85 %), далее (в порядке убывания) сфалерит, галенит, халькопирит. Нерудные минералы – кварц, серицит, хлорит и карбонаты (кальцит, анкерит, сидерит).

Оруденение субформации имеет гидротермально-осадочную и гидротермальную природу.

Медно-колчеданная (цинк-медноколчеданная) субформация представлена Глотихинским, Хариузахинским, Солохинским, Николаевским и Кийским проявлениями, которые тяготеют к вулканитам основного и кислого составов.

Рудные тела линзовидные малой мощности (первые метры). Контакты рудных тел с вмещающими породами часто нерезкие из-за присутствия в последних вкрапленного и прожилково-вкрапленного оруденения. Руды преимущественно массивные, иногда густовкрапленные, сложены пиритом (до 30–80 %), халькопиритом (до 10 %), сфалеритом (0,1–6 %). В виде незначительной примеси отмечаются пирротин, галенит, магнетит, золото. Породные минералы – кварц, серицит, хлорит, альбит, биотит, кальцит, сидерит, барит.

На площадях развития медно-колчеданного оруденения в вулканитах основного состава нередко устанавливается вкрапленная и прожилково-вкрапленная существенно медная минерализация. Содержание Cu и Zn в таких породах местами достигает 0,3–1,5 %. В некоторых случаях особенности оруденения по облику и геологиче-

ской позиции близки к медно-порфировому типу (Гремышинский участок). Такие участки изучены слабо, перспективы их остаются неясными. Возможно, часть из них окажется фланговыми участками медно-колчеданного оруденения, тем более что вблизи них нередко отмечается развитие лимонитов по колчеданным рудам (долины рек Кия, Тиса, Вороговка, Столбовая, Грениха).

Барит-полиметаллическая субформация объединяет объекты, характерная черта которых – присутствие барита в качестве одного из главных компонентов руд и непосредственно рудовмещающих пород.

Рудопроявления данной субформации (Мадринское, Ясненское, Большепитское) пространственно разобщены, располагаются среди пород тунгусикской терригенно-карбонатно-сланцевой формации. Непосредственно рудовмещающие породы – известняки, подвергшиеся дроблению дайки диабазов и диабазовых порфиритов, пачки существенно пирокластического состава, кварц-хлоритовые сланцы.

Рудные тела представляют собой минерализованные зоны дробления. Как правило, это гидротермально-метасоматические образования линзовидной и неправильной формы, жилы, размеры которых значительно варьируют и обычно невелики (протяжённость до первых десятков метров, мощность до нескольких метров). Распределение сульфидов вкрапленное, гнездовое. Руды, как правило, бедны пиритом. Главные рудные минералы – галенит и сфалерит, в качестве второстепенных спорадически встречаются халькопирит, буланжерит, джемсонит и др. Ведущие нерудные минералы – барит, доломит, кварц. Среди элементов-примесей отмечены Hg, Cd, As, Ag, Au, Mo и др.

Рудовмещающие породы подвержены баритизации (известняки, туфы), слабой доломитизации и окварцеванию (известняки), а также хлоритизации (диабазы).

Полиметаллические рудные узлы Енисейского кряжа и региональная зональность. В пределах Ангарского рудного района (см. рис. 1) сосредоточена основная масса выявленных ранее Pb-Zn объектов, которые объединены в 11 рудных узлов [12], названных по ключевым объектам: Горевский, Блохинский, Петрищевский, Долгинский, Рассохинский, Верхне-Рудиковский, Меркурихо-Морянихинский, Рудиковский, Пихтово-Дауглин-

ский, Токминский и Тенегинский. На Енисейском кряже в пределах названных рудных узлов отмечается изменение металльного типа оруденения с существенно-свинцового на юге (Горевский рудный узел, $Pb/Zn > 5$) на существенно-цинковое на северо-западе (Рассохинский, Меркурихо-Морянихинский рудные узлы, $Pb/Zn = 1$) и до медно-цинк-свинцового в северной части территории (Тенегинский рудный узел). Эта зональность, выраженная в смене металльных типов оруденения, находит своё отражение в размещении формационных типов полиметаллических объектов. Ряд зональности распределения формационных типов с юго-востока на северо-запад выглядит следующим образом: Горевский → Рассохинский → Морянихинский → в силикатных породах.

Позиция полиметаллического оруденения в региональных тектонических структурах. Енисейский кряж как минерагеническая провинция характеризуется неравномерным распределением полезных ископаемых, что обусловлено неоднородностью и сложностью его тектонического развития (см. рис. 1). Согласно современным тектоническим построениям Енисейский кряж представляет собой крупную коллизионно-аккреционную структуру, отделяющуюся по геологическим и геофизическим данным как от Сибирской платформы, расположенной к востоку от неё, так и от Западно-Сибирской плиты, расположенной к западу [4, 5]. В заангарской части Енисейский кряж сложен палеопротерозойскими и мезоэопротерозойскими окраинно-континентальными комплексами, выделенными в отдельные блоки (террейны) – Восточно-Ангарский и Центрально-Ангарский. Западный (Исаковский) тектонический блок (террейн) 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 Ангаро-Бахтинским (Анкиновским). Блоковая структура кряжа предопределяет его металлогеническую зональность, которая наиболее отчётливо проявилась в распределении золоторудных и полиметаллических месторождений.

Основная масса золоторудных месторождений локализована в восточной части Централь-

ного блока в пределах Центрального антиклинория, концентрирована вблизи двух региональных разломов – Ишимбинского и Татарского [25]. Последние являются главными рудоконтролирующими структурами и вместе с оперяющими их разрывными нарушениями более высоких порядков определяют пространственную картину распределения всех золоторудных месторождений в Енисейской золотоносной провинции [26]. В отличие от золоторудных подавляющая часть объектов с полиметаллическим оруденением развита в западной части того же Центрального блока, в пределах так называемого Большепитского синклинория (Большепитский мегасинклиний [12]). Зонами поперечных северо-восточных дислокаций он разделён на три подзоны, отвечающие рудным районам (Ангарский, Каменский и Вороговский). При этом основная масса полиметаллических проявлений и единственное на сегодня известное месторождение (Горевское) отчётливо тяготеют к южной (наиболее опущенной) части синклинория, образуя в совокупности Ангарский рудный район. С севера и юга он ограничен зонами поперечных дислокаций, Большепитско-Каюбинской и Ангаро-Вилюйской соответственно.

Вместе с тем из рис. 1 видно, что достаточно большое количество пунктов полиметаллической минерализации отмечается в Центрально-Ангарском и Восточно-Ангарском блоках. Признаки высококонцентрированного полиметаллического оруденения отмечаются и восточнее Ишимбинского глубинного разлома [20]. В бассейне р. Иочимо в пределах Лево-Иочиминской рудоносной зоны нами выявлено как золотое, так и полиметаллическое оруденение, сближенные в пространстве. По результатам геохимических поисков по вторичным ореолам здесь установлены протяжённые в северо-западном направлении линейные аномалии свинца и цинка (концентрации до 2000 и до 1000 г/т соответственно). Были выделены три перспективных на полиметаллическое оруденение участка: Золотой, Цинковый и участок руч. Первый. Наиболее крупная и контрастная аномальная зона участка руч. Первый локализована между ручьями Первый и Доро в их среднем течении, имеет протяжённость 800 м при ширине 100 м. Рудная, преимущественно галенитовая минерализация связана с крутопадающей зоной дробления и окварцевания в тонкоплитчатых серых сланцах удерейской свиты. Ширина зоны оквар-

цевания и брекчирования изменяется от первых метров до первых десятков метров. Единичной заверочной канавой на участке вскрыта интенсивная галенитовая минерализация. Гнездовое и прожилково-вкрапленное свинцовое оруденение проявлено в локальной зоне мощностью около 2 м. Рудная минерализация наложена на деформированный сланцевый субстрат и представлена цементом между обломками кварца сланцев, а также карбонатными агрегатами. Содержание свинца в руде варьирует в диапазоне 20,8–33,8 %. Прогнозные ресурсы по категории P_2 оценены в 115 тыс. т. по свинцу и 5 тыс. т. по цинку при среднем содержании 22,6 и 1,1 % соответственно.

Положение оруденения в стратиграфическом разрезе. Большинство исследователей, изучавших полиметаллические объекты Енисейского кряжа, литолого-стратиграфический фактор в размещении свинцово-цинкового оруденения считают определяющим. Установлена связь Pb-Zn минерализации с определёнными рядами стратифицированных геологических формаций, с конкретными рудоносными геологическими формациями, а внутри последних – с определёнными фациями горных пород. Основные выводы по стратиграфическому положению полиметаллических объектов базируются на сведениях по Ангарскому рудному району, наиболее продуктивному на свинцово-цинковое оруденение. Ряд авторов считает вероятным наличие единого регионального стратиграфического уровня оруденения (Дистанов Э. Г., 1980 г.; Пономарёв В. Г., 1988 г.). Конкин В. Д. с соавторами в 2019 г., анализируя в сравнительном плане стратиграфический контроль золотого и полиметаллического оруденения в Енисейской и Ленской минерагенических провинциях, пришли к выводу, что подавляющая часть полиметаллических объектов Енисейского кряжа приурочена к разрезам тунгусикской серии верхнего рифея, а основная масса золоторудных месторождений локализуется в разрезе сухопитской серии (RF₁–RF₂). В соседней Ленской минерагенической провинции, являющейся, как и Енисейский кряж, складчатый обрамлением Сибирской платформы, полиметаллическое оруденение локализуется в отложениях как среднего, так и верхнего рифея, что, по их мнению, является одним из важных отличий сравниваемых провинций.

Для выявления закономерностей в локализации свинцово-цинковых объектов с геологичес-

кими формациями Енисейского кряжа нами была составлена структурно-формационная карта Заангарской части Енисейского кряжа масштаба 1:500 000 (см. рис. 1) и выполнен анализ распределения месторождений, проявлений и пунктов минерализации в геологических формациях (рис. 2). Всего были выделены 17 геологических формаций: островная терригенно-карбонатная (V_2-E_1os), горевско-сухохребтинская вулканогенно-карбонатно-терригенная (RF_3sr), осянская песчано-сланцево-карбонатная (RF_3os), чингасанская вулканогенно-терригенно-сланцево-карбонатная (RF_3cng), вороговская терригенно-карбонатная (RF_3vv), орловская вулканогенно-терригенно-сланцево-карбонатная (RF_3or), тунгусикская терригенно-карбонатно-сланцевая (RF_3tg), торжинская песчано-вулканогенно-карбонатно-сланцевая ($RF_{1-2}tr$), киселихинская вулканогенная (RF_2ks+ot), карточки-аладынская карбонатно-сланцевая (RF_2kr+al), погорюйская песчано-сланцевая (RF_2pg), удерейская сланцевая (RF_2ud), кординская терригенно-сланцевая (RF_1kd), панимбинская вулканогенно-сланцевая (RF_1pn), хребта Карпинского метатерригенная (PR_1ts), пенченгинская метатерригенно-карбонатная (PR_1pn) и енисейско-гаревский метаморфический комплекс ($AR_2?en+g$). Из представленных материалов видно, что основная масса полиметаллических объектов приурочена к геологическим формациям верхнего рифея. Три

формации – горевско-сухохребтинская вулканогенно-карбонатно-терригенная (RF_3sr), орловская вулканогенно-терригенно-сланцево-карбонатная (RF_3or) и тунгусикская терригенно-карбонатно-сланцевая (RF_3tg) – контролируют большую часть объектов, включая промышленные месторождения.

Из графика (см. рис. 2) видно, что породы сухопитской серии также вмещают достаточно большое количество полиметаллических объектов неясной формационной принадлежности. Как было отмечено выше, в удерейской сланцевой формацией в Восточно-Ангарском блоке выявлено одно проявление богатых полиметаллических руд. Исходя из размещения полиметаллических месторождений в стратиграфическом разрезе Енисейского кряжа, можно сделать вывод о довольно большом временном интервале формирования свинцово-цинкового оруденения. И в этом Енисейская провинция не отличается от соседней Ленской, где полиметаллические объекты также представлены по всему разрезу рифея.

Особенности распределения полиметаллического оруденения в геофизических и геохимических полях. Для анализа положения полиметаллического оруденения в региональных геофизических и геохимических полях приведём результаты переинтерпретации исходных данных региональной геохимической съёмки Енисейского кряжа масштаба 1 : 500 000, выполненной по донным отложениям коллективом А. А. Ладынина в 1985–2000 гг. (14 000 проб на 30 элементов), а также данные частотно-азимутального анализа гравитационного поля (рис. 3), выполненного по методике, изложенной в работе [19].

Выполненный анализ азимутальной анизотропии гравитационного поля Енисейского кряжа в широком диапазоне пространственных частот позволил выявить два ортогональных направления максимальной изменчивости низкочастотных (региональных) составляющих поля – $50-60^\circ$ и $140-150^\circ$ (см. рис. 3, а). При этом в низкочастотной части спектра проявились не только основные структуры Енисейского кряжа северо-западного направления, но и впервые выявлены поперечные региональные структуры субширотного и северо-восточного простирания (см. рис. 3, б). Положительные гравитационные аномалии низкочастотной части спектра ($36-50 \text{ км}^{-1}$) проинтерпретированы как складчатые синформы – прогибы и

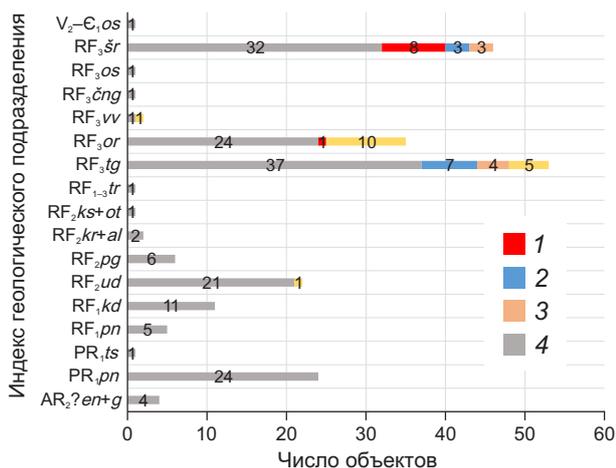


Рис. 2. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ В СТРАТИГРАФИЧЕСКИХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЯХ ЕНИСЕЙСКОГО КРЯЖА ПО ТИПАМ:

1 – Горевский, 2 – Морянихинский, 3 – Рассохинский, 4 – неясный

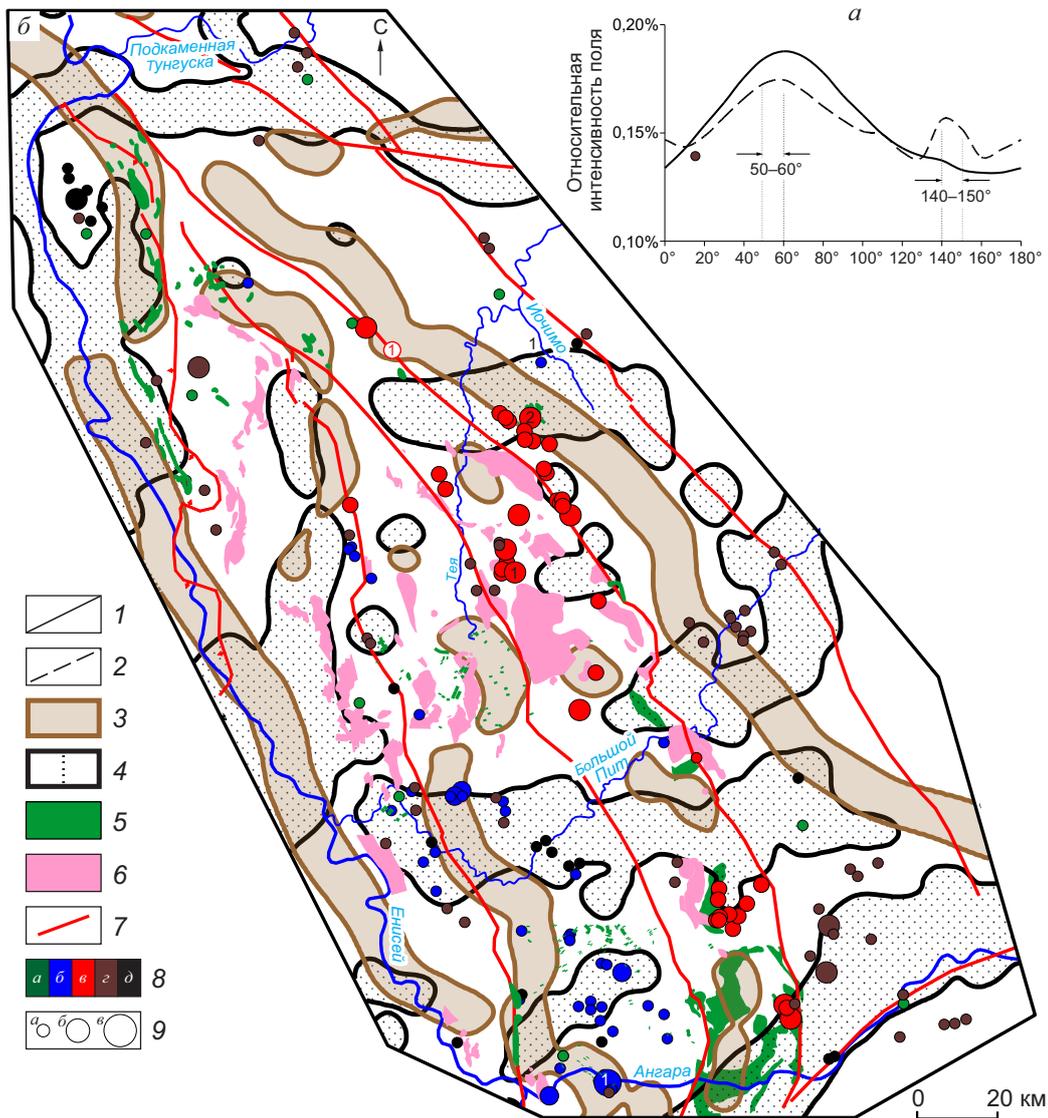


Рис. 3. АЗИМУТАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ ЕНИСЕЙСКОГО КРЯЖА (а) В ДИАПАЗОНЕ ВЫСОКИХ И НИЗКИХ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ЧАСТОТ И КАРТА НИЗКОЧАСТОТНЫХ (36–50 км⁻¹) ПОЛОЖИТЕЛЬНЫХ АНОМАЛИЙ ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ (> +0,3 мГал) (б) В ДИАПАЗОНЕ АЗИМУТОВ АНАЛИЗА:

пространственные частоты: 1 – высокие (2–20 км⁻¹), 2 – низкие (36–50 км⁻¹); диапазон азимутов анализа: 3 – 50–60°, 4 – 140–150°; 5 – вулканиты основного состава; 6 – коллизионные граниты; 7 – разломы (1 – Ишимбинский); 8 – геохимическая специализация (а – медь, б – свинец, цинк, в – золото, г – железо, д – марганец); 9 – рудные объекты: а – рудопроявления (1 – цинково-свинцовое руч. Первого), б – месторождения мелкие, в – крупные (1 – Олимпиадинское, 2 – Советское, 3 – Благодатное золоторудные, 1 – Горевское полиметаллическое)

синклинии, контролирующие положение вулканитов основного состава и рудных объектов Pb, Zn, Cu, Fe (см. рис. 3, б).

Поперечные гравитационные структуры, особенно в местах их пересечения со структурами северо-западного простирания (см. рис. 3, б),

контролируются точечными аномалиями Pb, Zn, Fe и др. элементов в донных отложениях, обрамляя ареал гранитизации Енисейского кряжа (рис. 4). Наиболее контрастный ореол суммарной пространственной плотности точечных аномалий свинца (> 40 г/т), цинка (> 200 г/т) и бария (> 700 г/т)

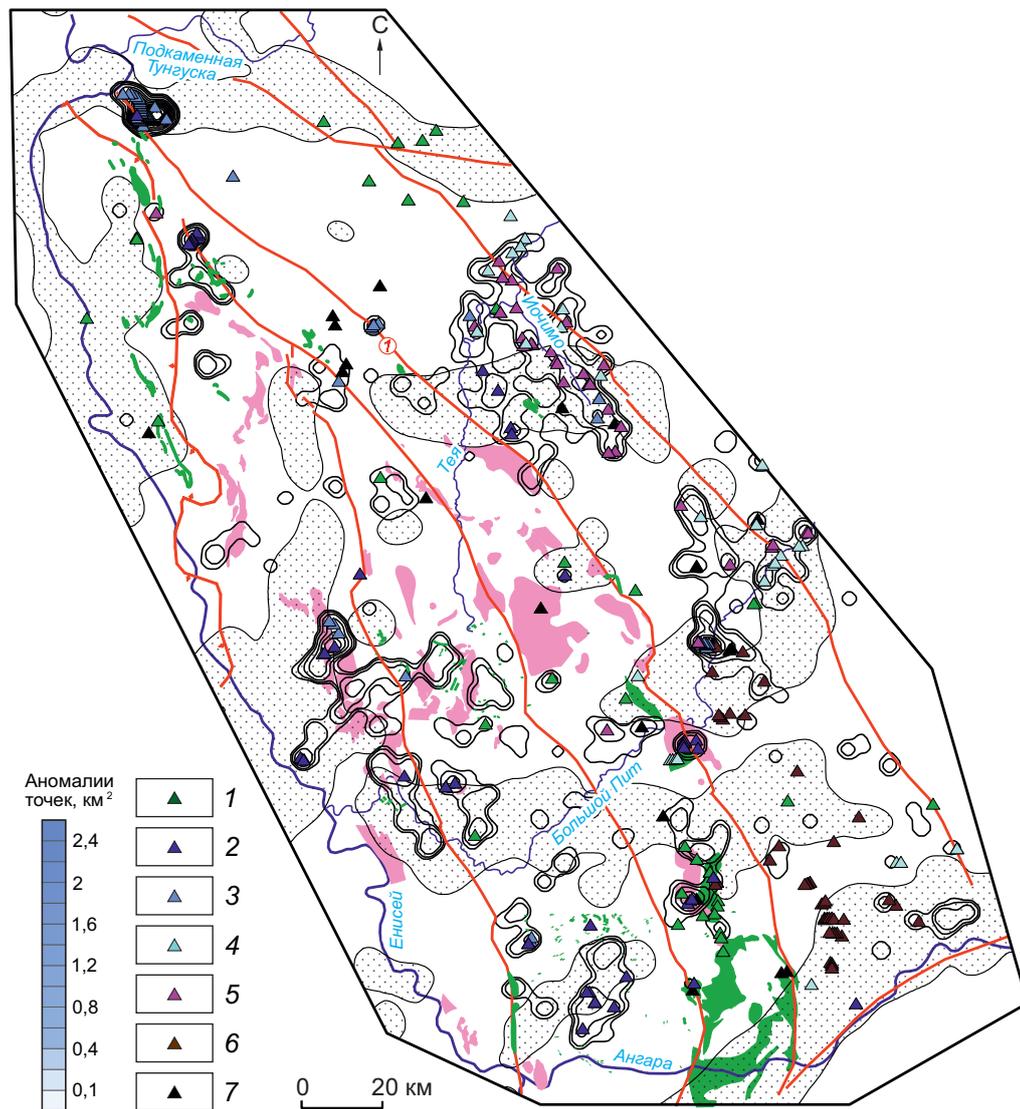


Рис. 4. ПЛОТНОСТЬ ТОЧЕЧНЫХ ГЕОХИМИЧЕСКИХ АНОМАЛИЙ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ, г/т:

1 – Cu > 70; 2 – Pb > 60; 3 – Zn > 350; 4 – Sr > 500; 5 – Ba > 1500; 6 – Fe > 9 %; 7 – Mn > 0,5 %; остальные усл. обозн. см. рис. 3

находится восточнее Ишимбинского глубинного разлома, формируя вторую, Восточную, рудоперспективную полосу геохимических аномалий этих элементов, субпараллельную известному Приенисейскому полиметаллическому поясу. Поперечная зональность восточной полосы комплексных геохимических полиметаллических аномалий проявлена трендом свинец → цинк → барий в направлении от Ишимбинского разлома к Сибирской платформе. Данные аномалии локализуются в амагматичном структурно-тектоническом бло-

ке Енисейского кряжа. Этот факт, а также структурный контроль Восточной полиметаллической полосы краевым прогибом, переходящим в юго-восточном направлении в Ангаро-Питский железорудный бассейн, позволяет предположить, что седиментогенный и телетермальный факторы – ведущие при формировании полиметаллического оруденения вдоль восточной границы Енисейского кряжа, где в бассейне р. Иочимо выявлено пока единственное проявление богатых цинково-свинцовых руд (рудопроявление руч. Первого).

Основные выводы. Анализ и обобщение материалов по металлогении свинца и цинка Енисейского кряжа позволяет выделить следующие особенности.

Наиболее продуктивными в отношении полиметаллического оруденения являются Исаковский и Центрально-Ангарский тектонические блоки.

Полиметаллическое оруденение представлено широким спектром рудно-формационных типов. Промышленный интерес на сегодня представляют объекты Горевского и Рассохинского типов. В размещении объектов различных формационных и металльных типов отмечается продольная зональность, проявленная в смене с юго-востока на северо-запад формационных типов в следующей последовательности: Горевский → Рассохинский → Морянихинский → в силикатных породах. Металльная зональность выражена в смене отношения полезных компонентов от преимущественно свинцовых объектов с $Pb : Zn > 5$ (Горевский рудный узел) до существенно цинковых с отношением $Pb : Zn = 1$ (Рассохинский и Меркурихо-Морянихинский рудные узлы) и медно-цинковых в северной части Енисейского кряжа (Тенегинский, Токминский рудные узлы).

Исходя из распределения полиметаллических объектов в стратиграфическом разрезе Енисейского кряжа можно заключить, что они с той или иной

частотой проявляются в различных подразделениях рифея. Основная часть полиметаллических объектов сосредоточена в Горевско-Сухохребетинской, Орловской и Тунгусикской формациях, которые представлены вулканогенными, терригенными и карбонатными отложениями, а также сланцами.

Анализ гравитационного поля показывает наличие поперечных тектонических структур, которые очевидно обуславливают зональность в распределении различных геологических и рудных формаций. Установлено, что положительные гравитационные аномалии низкочастотной части спектра, интерпретированные как прогибы и синклинии, контролируют положение вулканитов основного состава, в том числе и полиметаллических рудных объектов.

Результатами интерпретации первичной базы данных региональной геохимической съёмки Енисейского кряжа показано, что комплексные аномалии свинца и цинка, а также совмещённые с ними аномалии бария и марганца в пределах амагматического восточного склона по интенсивности близки Приенисейской полиметаллической металлогенической зоне. Присутствие здесь объектов с высококонцентрированным свинцово-цинковым оруденением не исключает возможности развития промышленного телетермального стратиформного полиметаллического оруденения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аладышкин А. С. Характерные эндогенные рудные формации юго-западного обрамления Сибирской платформы // Вопросы петрологии и металлогении западного обрамления Сибирской платформы. – Красноярск, 1969. – С. 3–18.
2. Бровков Г. Н. Признаки конвергентности на стратиформных свинцово-цинковых месторождениях в сланцево-карбонатных толщах // Труды института геологии и геофизики. Генетические модели стратиформных месторождений свинца и цинка. – Новосибирск : Наука, 1991. – С. 49–56.
3. Бровков Г. Н., Мирошников А. Е., Охалкин Н. А. Генетические модели формаций полиметаллических месторождений Енисейского Кряжа // Генетические модели эндогенных рудных формаций. Т. 2. – Новосибирск : Наука, 1983. – С. 121–126.
4. Верниковский В. А., Казанский А. Ю., Матушкин Н. Ю., Метелкин Д. В., Советов Ю. К. Геодинамическая эволюция складчатого обрамления и западная граница Сибирского кратона в неопротерозое: геологоструктурные, седиментологические, геохронологические и палеомагнитные данные // Геология и геофизика. – 2009. – № 50(4). – С. 380–393.
5. 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 кряжа и формирование западной окраины Сибирского кратона на основе новых геологических, палеомагнитных и геохронологических данных // Геология и геофизика. – 2016. – Т. 57, № 1. – С. 63–90.
6. Выдрин В. И., Груздев В. С. Эндогенные ореолы рассеяния цинково-свинцового месторождения в Енисейском Кряже // Геология рудных месторождений. – М. : Наука. – 1965. – С. 45–57.
7. Дистанов Э. Г. Колчеданно-полиметаллические месторождения Сибири. – Новосибирск : Наука, 1977. – 361 с.

8. *Забиров Ю. А., Пономарёв В. Г.* Поисковые признаки и оценочные критерии свинцово-цинкового оруденения Енисейского кряжа. – Новосибирск : ИГиГ СО АН СССР, 1988. – 141 с.
9. *Забияка А. И.* Тектоника и металлогения нижнего Приангарья. – Красноярск : КНИИГиМС, 2003. – 322 с.
10. *Зверев В. В.* Золотоносные рудно-магматические системы в геохимическом поле Енисейского кряжа // Прикладная геохимия: сборник статей. – М. : ИМГРЭ, 2008. – Вып. 8, т. 2. – С. 135–143.
11. *Зверев В. В.* Некоторые особенности регионального геохимического поля Заангарской части Енисейского кряжа // Разведка и охрана недр. – 2004. – № 6. – С. 40–45.
12. *Зуев В. К., Качевский Л. К., Качевская Г. И., Комаров В. В., Минаева О. А., Маркович Л. А., Шаталина Т. Н., Потапенко Л. Я.* Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Ангаро-Енисейская. Лист О-46 – Красноярск. Объяснительная записка. – СПб. : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2009. – 500 с.
13. *Корнев Т. Я.* Структурный контроль железного, марганцевого и полиметаллического оруденения Енисейского кряжа // Доклады Академии наук, 1985. – С. 1187–1191.
14. *Кузнецов В. В., Инякин А. В., Серавина Т. В.* Перспективы выявления месторождений свинца и цинка в пределах Салаирской и Ангаро-Большепитской минерагенических зон // Сборник докладов XI Международного конгресса «Цветные металлы и минералы». – Красноярск, 2019. – С. 677–686.
15. *Лавыгина В. Н., Косоруков А. П., Киселёва В. Н.* Справочник полезных ископаемых Енисейского района Красноярского края. – Красноярск : ООО «ГеоЭкономика», 2002. – 259 с.
16. *Левченко С. В., Ильинская Х. Г.* Металлогения эндогенных месторождений рифея западного и юго-западного обрамления Сибирской платформы // Известия Академии наук СССР, Серия геологическая. – 1984. – С. 109–116.
17. *Лобанов К. В., Некос В. В.* Месторождения типа SEDEX – важнейший источник Zn, Pb и Ag в мире. Краткий мировой обзор. Перспективы России и Красноярского края // Журнал Сибирского федерального университета. Техника и технологии. – 2017. – Т. 10, № 7. – С. 881–907.
18. *Макаров В. А., Макеев С. М., Межубовский В. В., Фисенко В. Г., Самородская М. А.* Опыт применения технологии компьютерного прогнозирования золоторудных объектов в Заангарской части Енисейского кряжа // Руды и металлы. – 2012. – № 3. – С. 50–57.
19. *Макеев С. М.* Решение двух задач геодинамики гравитруктурным методом // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2016. – № 4. – С. 63–74.
20. *Макеев С. М., Макаров В. А., Межубовский В. В.* Полиметаллическое и золотое оруденение в региональном геохимическом поле Енисейского кряжа // Сборник докладов XI Международного конгресса «Цветные металлы и минералы». – Красноярск, 2019. – С. 743–752.
21. *Металлогенический кодекс России.* – М. : Геокарт-ГЕОС, 2012. – 126 с.
22. *Минеральные ресурсы Красноярского края в двух книгах. Кн. 2. Кадастр месторождений полезных ископаемых.* – Красноярск : КНИИГиМС. – 2002. – С. 206–213.
23. *Озерский Ю. А., Богомазова О. М., Косоруков А. П.* Справочник полезных ископаемых Мотыгинского района Красноярского края. – Красноярск : ООО «ГеоЭкономика», 2002. – 356 с.
24. *Пономарёв В. Г., Акимцев В. А., Забиров Ю. А., Саравев С. В.* Методологические принципы моделирования стратиформных свинцово-цинковых проявлений в терригенно-карбонатных толщах // Генетические модели стратиформных месторождений свинца и цинка. – Новосибирск : Наука, 1991. – С. 13–41.
25. *Сердюк С. С.* Золотоносные провинции Центральной Сибири: геология, минерагения и перспективы освоения. – Красноярск : КНИИГиМС, 2004. – 480 с.
26. *Сердюк С. С., Коморовский Ю. Е., Зверев А. И., Бабушкин В. Е., Власов В. С., Землянский С. А., Кириленко В. А., Ояберь В. К.* Модели месторождений золота Енисейской Сибири. – Красноярск : ФГОУ ВПО СФУ ИГДГиГ, 2010. – 584 с.
27. *Скрипников В. Е., Влащенко О. Ю., Косоруков А. П.* Справочник полезных ископаемых Северо-Енисейского района Красноярского края. – Красноярск : ООО «ГеоЭкономика», 2002. – 240 с.
28. *Стримжа Т. П.* Метасоматоз-кислород-аргиллизиты (на примере Горевского свинцово-цинкового месторождения, Енисейский кряж). – Красноярск : СФУ, 2017. – 160 с.
29. *Шерман М. Л.* О парагенетической связи руд Горевского полиметаллического месторождения с комплексом малых интрузий основного состава и их возрасте // Рудоносность и геология Средней Сибири. – Красноярск, 1971. – С. 79–80.
30. *Emsbo P.* Gold in Sedex Deposits // SEG Reviews. – 2000. – V. 13. – P. 427–437.
31. *Goodfellow W. D., Lydon J. W.* Sedimentary exhalative (SEDEX) deposits // Mineral Deposits of Canada: A Synthesis of Major Deposit Types, District Metallogeny, the Evolution of Geological Provinces, and Exploration Methods. – [S. l.], 2007. – P. 163–183.

REFERENCES

1. Aladyshkin A. S. Kharakternye endogennye rudnye formatsii yugo-zapadnogo obramleniya Sibirskoi platformy [Typical endogenous ore formations of the southwestern framing of the Siberian platform], *Voprosy petrologii i metallogenii zapadnogo obramleniya Sibirskoi platformy* [Problems of petrology and metallogeny of the western framing of the Siberian platform], Krasnoyarsk, 1969, pp. 3–18. (In Russ.).
2. Brovko G. N. Priznaki konvergentnosti na stratiformnykh svintsovo-tsinkovykh mestorozhdeniyakh v slantsevo-karbonatnykh tolshchakh [Signs of convergence in stratiform lead-zinc deposits in shale-carbonate strata], *Trudy instituta geologii i geofiziki. Geneticheskie modeli stratiformnykh mestorozhdenii svintsa i tsinka* [Proceedings of the Institute of Geology and Geophysics. Genetic models of stratiform lead and zinc deposits], Novosibirsk, Nauka Publ., 1991, pp. 49–56. (In Russ.).
3. Brovko G. N., Miroshnikov A. E., Okhapkin N. A. Geneticheskie modeli formatsii polimetallicheskiykh mestorozhdenii Eniseiskogo Kryazha [Genetic models of the formations of polymetallic deposits of the Yenisei Ridge], *Geneticheskie modeli endogennykh rudnykh formatsii. T. 2* [Genetic models of endogenous ore formations. V. 2], Novosibirsk, Nauka Publ., 1983, pp. 121–126.
4. Vernikovskii V. A., Kazanskii A. Yu., Matushkin N. Yu., Metelkin D. V., Sovetov Yu. K. Geodinamicheskaya evolyutsiya skladchatogo obramleniya i zapadnaya granitsa Sibirskogo kratona v neoproterozoe: geologostrukturnye, sedimentologicheskie, geokhronologicheskie i paleomagnetnyye dannye [Geodynamic evolution of the folded framing and the western boundary of the Siberian craton in the Neoproterozoic: geological structural, sedimentological, geochronological and paleomagnetic data], *Geologiya i geofizika* [Russian Geology and Geophysics], 2009, No 50(4), pp. 380–393. (In Russ.).
5. Vernikovskii V. A., Metelkin D. V., Vernikovskaya A. E., Matushkin N. Yu., Kazanskii A. Yu., Kadil'nikov P. I., Romanova I. V., Vingeit M. T. D., Larionov A. N., Rodionov N. V. Neoproterozoiskaya tektonicheskaya struktura Eniseiskogo kryazha i formirovanie zapadnoi okrainy Sibirskogo kratona na osnove novykh geologicheskikh, paleomagnetnykh i geokhronologicheskikh dannykh [Neoproterozoic tectonic structure of the Yenisei ridge and the formation of the western margin of the Siberian craton based on new geological, paleomagnetic and geochronological data], *Geologiya i geofizika* [Russian Geology and Geophysics], 2016, V. 57, No 1, pp. 63–90. (In Russ.).
6. Vydrin V. I., Gruzdev V. S. Endogennye oreoly rassenyaniya tsinkovo-svintsovogo mestorozhdeniya v Eniseiskom Kryazhe [Endogenous dispersion halos of a zinc-lead deposit in the Yenisei Ridge], *Geologiya rudnykh mestorozhdenii* [Geology of Ore Deposits], Moscow, Nauka Publ., 1965, pp. 45–57. (In Russ.).
7. Distanov E. G. Kolchedanno-polimetallicheskie mestorozhdeniya Sibiri [Pyrite-polymetallic deposits of Siberia], Novosibirsk, Nauka Publ., 1977, 361 p.
8. Zabiroy Yu. A., Ponomarev V. G. Poiskovyye priznaki i otsenochnye kriterii svintsovo-tsinkovogo orudneniya Eniseiskogo kryazha [Search signs and evaluation criteria for lead-zinc mineralization of the Yenisei Ridge], Novosibirsk, IGIG SO AN SSSR Publ., 1988, 141 p.
9. Zabayaka A. I. Tektonika i metallogeniya nizhnego Priangar'ya [Tectonics and metallogeny of the lower Angara region], Krasnoyarsk, KNIIGiMS Publ., 2003, 322 p.
10. Zverev V. V. Zolotonosnye rudno-magmatische sistemy v geokhimicheskom pole Eniseiskogo kryazha [Gold-bearing ore-magmatic systems in the geochemical field of the Yenisei ridge], *Prikladnaya geokhimiya: sbornik statei* [Applied geochemistry: collection of articles], Moscow, IMGRE Publ., 2008, V. 8, No 2, pp. 135–143. (In Russ.).
11. Zverev V. V. Nekotorye osobennosti regional'nogo geokhimicheskogo polya Zaangarskoi chasti Eniseiskogo kryazha [Some features of the regional geochemical field of the Transangar part of the Yenisei Ridge], *Razvedka i okhrana nedr* [Prospect and protection of mineral resources], 2004, No 6, pp. 40–45. (In Russ.).
12. Zuev V. K., Kachevskii L. K., Kachevskaya G. I., Komarov V. V., Minaeva O. A., Markovich L. A., Shatalina T. N., Potapenko L. Ya. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiiskoi Federatsii. Masshtab 1 : 1 000 000 (tret'ye pokolenie). Seriya Angaro-Eniseiskaya. List O-46 – Krasnoyarsk. Ob'yasnitel'naya zapiska [State geological map of the Russian Federation. Scale 1 : 1 000 000 (third generation). Angara-Yenisei series. Sheet O-46 – Krasnoyarsk. Explanatory letter], St. Petersburg, Kartograficheskaya fabrika VSEGEI Publ., 2009, 500 p.
13. Kornev T. Ya. Strukturnyi kontrol' zheleznogo, margantshevogo i polimetallicheseskogo orudneniya Eniseiskogo kryazha [Structural control of iron, manganese and polymetallic mineralization of the Yenisei Ridge], *Doklady Akademii nauk* [Reports of the Academy of Sciences], 1985, pp. 1187–1191. (In Russ.).
14. Kuznetsov V. V., Inyakin A. V., Seravina T. V. Perspektivy vyyavleniya mestorozhdenii svintsa i tsinka v prede-

- lakh Salairskoi i Angaro-Bol'shepitskoi mineragenicheskikh zon [Prospects for identifying deposits of lead and zinc within the Salair and Angara-Bolshepe mineragenic zones], *Sbornik dokladov XI Mezhdunarodnogo kongressa "Tsvetnye metally i mineraly"* [Collection of reports of the XI International Congress "Non-ferrous metals and minerals"], Krasnoyarsk, 2019, pp. 677–686. (In Russ.).
15. Lavygina V. N., Kosorukov A. P., Kiseleva V. N. Spravochnik poleznykh iskopaemykh Eniseiskogo raiona Krasnoyarskogo kraia [Directory of Mineral Resources of the Yenisei District of the Krasnoyarsk Territory], Krasnoyarsk, OOO "GeoEkonomika" Publ., 2002, 259 p.
 16. Levchenko S. V., Il'inskaya Kh. G. Metallogeniya endogennykh mestorozhdenii rifeya zapadnogo i yugo-zapadnogo obramleniya Sibirskoi platformy [Metallogeny of endogenous Riphean deposits in the western and southwestern framing of the Siberian platform], *Izvestiya Akademii nauk SSSR, Seriya geologicheskaya* [Bulletin of the USSR Academy of Sciences, Geological series], 1984, pp. 109–116. (In Russ.).
 17. Lobanov K. V., Nekos V. V. Mestorozhdeniya tipa SEDEX – vazhneishii istochnik Zn, Pb i Ag v mire. Kratkii mirovoi obzor. Perspektivy Rossii i Krasnoyarskogo kraia [Deposits of the SEDEX type are the most important source of Zn, Pb and Ag in the world. Brief world overview. Prospects for Russia and the Krasnoyarsk Territory], *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Tekhnika i tekhnologii* [Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies], 2017, V. 10, No 7, pp. 881–907. (In Russ.).
 18. Makarov V. A., Makeev S. M., Mezhubovskii V. V., Fisenko V. G., Samorodskaya M. A. Opyt primeneniya tekhnologii komp'yuternogo prognozirovaniya zolotrudnykh ob'ektov v Zaangarskoi chasti Eniseiskogo kryazha [Experience of using the technology of computer forecasting of gold ore objects in the Zaangar part of the Yenisei Ridge], *Rudy i metally* [Ores and Metals], 2012, No 3, pp. 50–57. (In Russ.).
 19. Makeev S. M. Reshenie dvukh zadach geodinamiki gravitstrukturnym metodom [Solution of two problems of geodynamics by gravity-structured method], *Geologiya i mineral'no-syr'evye resursy Sibiri* [Geology and mineral resources of Siberia], 2016, No 4, pp. 63–74. (In Russ.).
 20. Makeev S. M., Makarov V. A., Mezhubovskii V. V. Polimetallicheskoe i zolotoe orudnenie v regional'nom geokhimicheskom pole Eniseiskogo kryazha [Polymetallic and gold mineralization in the regional geochemical field of the Yenisei Ridge], *Sbornik dokladov XI Mezhdunarodnogo kongressa "Tsvetnye metally i mineraly"* [Collection of reports of the XI International Congress "Non-ferrous metals and minerals"], Krasnoyarsk, 2019, pp. 743–752. (In Russ.).
 21. Metallogenicheskiy kodeks Rossii [Metallogenic Code of Russia], Moscow, Geokart-GEOS Publ., 2012, 126 p.
 22. Mineral'nye resursy Krasnoyarskogo kraia v dvukh knigakh. Kn. 2. Kadastr mestorozhdenii poleznykh iskopaemykh [Mineral resources of the Krasnoyarsk Territory in two books. Book 2. Cadastre of mineral deposits], Krasnoyarsk, KNIIGiMS Publ., 2002, pp. 206–213.
 23. Ozerskii Yu. A., Bogomazova O. M., Kosorukov A. P. Spravochnik poleznykh iskopaemykh Motyginskogo raiona Krasnoyarskogo kraia [Handbook of Mineral Resources of the Motygin'sky District of the Krasnoyarsk Territory], Krasnoyarsk, OOO "GeoEkonomika" Publ., 2002, 356 p.
 24. Ponomarev V. G., Akimtsev V. A., Zabiroy Yu. A., Sarayev S. V. Metodologicheskie printsipy modelirovaniya stratiformnykh svintsovo-tsinkovykh proyavlenii v terrigenno-karbonatnykh tolshchakh [Methodological principles of modeling stratiform lead-zinc occurrences in terrigenous-carbonate strata], *Geneticheskie modeli stratiformnykh mestorozhdenii svintsy i tsinka* [Genetic models of lead and zinc stratiform deposits], Novosibirsk, Nauka Publ., 1991, pp. 13–41. (In Russ.).
 25. Serdyuk S. S. Zolotonosnye provintsii Tsentral'noi Sibiri: geologiya, minerageniya i perspektivy osvoeniya [Gold-bearing provinces of Central Siberia: geology, minerageny and development prospects], Krasnoyarsk, KNIIGiMS Publ., 2004, 480 p.
 26. Serdyuk S. S., Komorovskii Yu. E., Zverev A. I., Babushkin V. E., Vlasov V. S., Zemlyanskii S. A., Kirilenko V. A., Oyaber' V. K. Modeli mestorozhdenii zolota Eniseiskoi Sibiri [Models of gold deposits in Yenisei Siberia], Krasnoyarsk, FGOU VPO SFU IGDGiG Publ., 2010, 584 p.
 27. Skripnikov V. E., Vlashchenko O. Yu., Kosorukov A. P. Spravochnik poleznykh iskopaemykh Severo-Eniseiskogo raiona Krasnoyarskogo kraia [Directory of Mineral Resources of the Severo-Yenisei District of the Krasnoyarsk Territory], Krasnoyarsk, OOO "GeoEkonomika" Publ., 2002, 240 p.
 28. Strimzha T. P. Metasomatoz-kislorod-argillizity (na primere Gorevskogo svintsovo-tsinkovogo mestorozhdeniya, Eniseiskii kryazh) [Metasomatism-oxygen-argillites (on the example of the Gorevskoe lead-zinc deposit, Yenisei Ridge)], Krasnoyarsk, SFU Publ., 2017, 160 p.
 29. Sherman M. L. O parageneticheskoi svyazi rud Gorevskogo polimetallicheskogo mestorozhdeniya s kom-

pleksom malykh intruzii osnovnogo sostava i ikh vozraste [On the paragenetic relationship of the ores of the Gorevskoye polymetallic deposit with a complex of small intrusions of basic composition and their age], *Rudonosnost' i geologiya Srednei Sibiri* [Ore content and geology of Central Siberia], Krasnoyarsk, 1971, pp. 79–80. (In Russ.).

30. Emsbo P. Gold in Sedex Deposits, *SEG Reviews*, 2000, V. 13, pp. 427–437.

31. Goodfellow W. D., Lydon J. W. Sedimentary exhalative (SEDEX) deposits, *Mineral Deposits of Canada: A Synthesis of Major Deposit Types, District Metallogeny, the Evolution of Geological Provinces, and Exploration Methods*, [S. l.], 2007, pp. 163–183.

FEATURES OF LEAD AND ZINC METALLOGENY WITHIN THE YENISEI RIDGE

S. M. Makeev (PhD, HAC Associate professor, Associate professor of deposit geology and prospecting methods department)

E. A. Muromtsev (postgraduate)

V. A. Makarov (PhD, Professor, Director, Head of deposit geology and prospecting methods department)

G. V. Belokonov (postgraduate)

Institute of Mining, Geology and Geotechnologies, Siberian Federal University, Krasnoyarsk

Information collected on deposits, ore occurrences, and lead and zinc mineralization points known within the Yenisei Ridge is provided. A summary of the latest data on the geology and metallogeny of lead and zinc in the region is presented. A brief description of the deposits is given and their ore formation typification is carried out. The position of deposits in a stratigraphic section, the relationship with geological formations and tectonic structures, and subsequent conclusions about deposit location patterns and metallogenic zonation of the area were examined. The position analysis of polymetallic mineralization in regional geophysical and geochemical field revealed the presence of lead → zinc → barium trend from the Ishimbinsk fault towards the Siberian platform and the potential discovery of economically significant polymetallic mineralization in the eastern Yenisei Ridge.

Keywords: Yenisei Ridge, Angarsk ore region, polymetallic deposits, tectonic structures in the gravitational field, distribution patterns, metallogenic zoning, lead, zinc.

