

## Геология и колчеданно-полиметаллическое оруденение прогнозируемого Лимонитового месторождения Рассохинского рудного узла (Енисейский кряж)

### Geology and pyrite-polymetallic mineralization of the forecasted Limonite deposit, Rassokhinsky ore cluster (Yenisei ridge)

Сердюк С. С., Макаров В. А., Кириленко В. А.,  
Макаров И. В., Муромцев Е. А., Шведов Г. И.

Serdyuk S. S., Makarov V. A., Kirilenko V. A.,  
Makarov I. V., Muromtsev E. A., Shvedov G. I.

Развитие и освоение крупнейшего в России Гореvского месторождения свинцово-цинковых руд (Гореvский ГОК, Новоангарский ОК) в значительной мере будет определяться перспективными объектами Ангарского полиметаллического рудного района, в частности месторождениями Рассохинского рудного узла. В его пределах по данным анализа геолого-геофизической информации предшествующих и современных работ прогнозируется наличие крупного Лимонитового месторождения колчеданно-полиметаллических руд. Основной литолого-стратиграфический критерий локализации руд определяется их приуроченностью к пачке высокоуглеродистых чёрных кварц-серицитовых сланцев верхней под-свиты потоскуйской свиты верхнего рифея. В кровле этой пачки локализуются слоистые и массивные колчеданно-полиметаллические руды стволовой мощностью 70–140 м. Содержание свинца и цинка по данным рентгенофлуоресцентного анализа по керну составляет от долей процента до первых процентов, по методу ICP-AES Pb – 0,1–3,7 %, Zn – 0,1–6,4 %, отношение Pb : Zn 1 : (1–10).

Ключевые слова: прогнозируемое Лимонитовое месторождение колчеданно-полиметаллических руд, геологическое строение, критерии локализации, вещественный состав руд, Рассохинский рудный узел, Енисейский кряж.

The development of Russia's largest Gorevskoye lead-zinc deposit (Gorevsky GOK, Novoangarsky OK) will depend on promising deposits of the Angara polymetallic ore region, in particular, those of the Rassokhinsky ore cluster. Based on the analysis of geological and geophysical information of previous and current studies, a major Limonite pyrite-polymetallic (massive sulfide) deposit is forecasted within it. The main lithological and stratigraphic criterion for the localization of ores is determined by their confinement to high-carbon black quartz-sericite schists of the upper subformation of the Potoskuy suite of the Upper Riphean. In the top of this pack, layered and massive pyrite-polymetallic ores, 70–140 m thick, are localized. Based on PPA data, lead and zinc content in core varies from fractions of a percent to several percent, based on the ICP-AES method: 0,1–3,7 % Pb, 0,1–6,4 % Zn, Pb : Zn ratio is 1 : (1–10).

Keywords: forecasted Limonite pyrite-polymetallic deposit, geological structure, localization criteria, ore composition, Rassokhinsky ore cluster, Yenisei ridge.

Для цитирования: 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. DOI: 10.47765/0869-5997-2021-10026.

For citation: Serdyuk S. S., Makarov V. A., Kirilenko V. A., Makarov I. V., Muromtsev E. A., Shvedov G. I. Geology and pyrite-polymetallic mineralization of the forecasted Limonite deposit, Rassokhinsky ore cluster (Yenisei ridge). Ores and metals, 2021, № 4, pp. 22–42. DOI: 10.47765/0869-5997-2021-10026.

В результате проведения в 1960–1990 гг. многолетних планомерных геологических и геофизических съёмок, поисковых и разведочных работ на Енисейском кряже было выявлено и в разной степени изучено свинцово-цинковое оруденение Ангарского рудного района. Результаты этих работ нашли отражение в материалах ГГС-200 первого поколения. В это же время начались геологические и геофизические съёмки, геологическое доизучение (ГДП) масштаба 1 : 50 000 на перспективных площадях, одновременно на них проводились поисковые и разведочные работы, которые продолжались до конца 1990-х годов (Л. Г. Прожогин, 1960; К. В. Боголепов, 1961; М. Л. Шерман, 1964; Л. Г. Саванович, 1970; А. Е. Березий, 1973; С. В. Горбунов, 1973; А. П. Четвергов, В. А. Одегов, 1965; Г. П. Валента, 1965; М. М. Лапшин, 1990; А. Ф. Целыковский, 2000). Результаты данных работ позволили создать современную геологическую основу, провести металлогеническое районирование и выработать эффективный комплекс поисковых работ и геолого-геофизических признаков локализации разных типов свинцово-цинковых руд.

Ангарский свинцово-цинковый рудный район характеризует развитие трёх основных рудных формаций стратиформного типа, выявленных и изученных в процессе многолетних геолого-съёмочных, поисковых, разведочных и научно-исследовательских работ [1]. Это свинцово-цинковая формация в кремнисто-карбонатных породах – горевский геолого-промышленный тип (Горевское месторождение), свинцово-цинковая в карбонатных породах – миргалимсайский тип (Морянихинская группа проявлений), колчеданно-полиметаллическая в углеродистых породах (Рассохинская группа проявлений).

*Свинцово-цинковая формация в кремнисто-карбонатных породах* проявлена в Горевском, Долгинском и Блохинском рудных узлах. Наиболее изученный и крупный объект – Горевский рудный узел (площадь 120 км<sup>2</sup>). В его пределах, кроме Горевского месторождения, установлены группа проявлений участка Картичный и проявление Рудиковское. Запасы Горевского месторождения на 01.01.2000 г. со-

ставляют: Pb – 7950 тыс. т; Zn – 1950 тыс. т. Проявление Картичное, как и Горевское месторождение, приурочено к ядру Горевской синклинали. Рудовмещающая толща, вскрытая буровыми скважинами, представлена доломитовыми известняками, доломитами, кремнистыми доломитами верхнегоревской подсвиты, смятыми в мелкие складки. Руды проявления по минеральному составу и типу аналогичны рудам Горевского месторождения. Прогнозные ресурсы проявления оцениваются (тыс. т): по кат. P<sub>1</sub> Pb – 200, Zn – 100; по кат. P<sub>2</sub> – 550 и 800 соответственно. Рудиковская группа проявлений изучена штольной и буровыми скважинами. Оруденение представлено рудными телами с галенит-сфалеритовой минерализацией (мощность 0,2–0,7 м), локализованными в известняках, магнетитсодержащих известняках и известково-глинистых сланцах нижнегоревской подсвиты. Рудовмещающие породы смяты в синклиналиальную складку. Содержание Pb в рудах изменяется от 1 до 2–5 %, Zn – 0,1–1,0 %. Прогнозные ресурсы проявления по кат. P<sub>2</sub> оцениваются (тыс. т): Pb – 160, Zn – 60.

*Свинцово-цинковая формация в карбонатных (рифогенных) породах* развита в Меркурихо-Морянихинском и Петрищевском предполагаемых рудных узлах. Меркурихо-Морянихинский рудный узел включает Меркурихинское и Морянихинское рудные поля.

В Меркурихинском рудном поле наиболее изучены Меркурихинское и Анатольевское проявления. Первое изучено горными и буровыми работами. Рудовмещающие образования представлены доломитами, водорослевыми доломитами с оползневыми брекчиями карбонатных пород и серицит-хлоритовыми сланцами третьей пачки верхнепотоскуйской подсвиты, моноклинально залегающими в тектоническом блоке размером до 6 км<sup>2</sup>, ограниченном разломами. Оруденение, прослеженное скважинами на глубину до 400 м, локализовано в двух крутопадающих линзообразных телах, согласно залегающих с вмещающими породами. Размеры рудных тел 1,5 × 100 × 100 и 6,0 × 300 × 500 м. Основные рудные минералы – галенит и сфалерит, встречаются пирит

и халькопирит. Содержание Pb в одном рудном теле составляет 0,62 %, Zn – 1,96 %, в другом 7,11 и 1,73 % соответственно. Прогнозные ресурсы проявления по категориям  $P_1$  и  $P_2$  составляют: Pb – 130,7 тыс. т, Zn – 32,5 тыс. т (А. Е. Березий, 1973; М. М. Лапшин, 1990).

Анатолевское проявление приурочено к ядру антиклинальной складки. Рудовмещающие породы – доломитистые, глинистые и водорослевые известняки шунтарской свиты. Свинцово-цинковое оруденение локализовано в пяти линзовидных телах мощностью от 2 до 14 м. Основные рудные минералы – сфалерит и галенит. Постоянно присутствует пирит, иногда отмечаются халькопирит и пирротин. Содержание Pb изменяется от 0,1 до 3,95 %, Zn – от 0,15 до 3,69 %, Ag – от 2 до 50 г/т. До глубины 100 м на проявлении развита зона окисления, представленная кварц-лимонитовой сыпучкой и охристыми глинами каолинитового и гидрослюдистого составов. В окисленных рудах выявлены англезит, церуссит, смитсонит, пиролюзит. Прогнозные ресурсы проявления по категориям  $P_1$  и  $P_2$  оцениваются (тыс. т): Pb – 495, Zn – 186,4.

Морянихинское рудное поле охватывает Морянихинское проявление и ряд пунктов минерализации. Морянихинское проявление – наиболее типичный объект свинцово-цинковой формации в карбонатных (рифогенных) породах. Оно представляет собой залежь, состоящую из пяти линзообразных рудных тел, локализованных в водорослевых доломитах третьей пачки верхнепотоскуйской подсвиты. Мощность рудных тел изменяется от 2 до 21 м, в среднем составляет 10 м. Руды представлены галенитом (80–85 %) и сфалеритом (15–20 %). Существенно галенитовые руды тяготеют к верхним и средним частям крутопадающих рудных тел, сфалеритовые – к нижним. Среднее содержание Pb и Zn в рудах составляет 3 %. Кроме того, в рудах установлены серебро (до 80 г/т), Ge (до 100 г/т), Cd (до 0,1 %), присутствуют Cu, Co, Ni, Sb. Прогнозные ресурсы Pb и Zn Морянихинского рудного поля по кат.  $P_2$  оцениваются в 650 и 500 тыс. т соответственно.

*Колчеданно-полиметаллическая формация в углеродистых породах* представлена рас-

сохинским типом оруденения в терригенно-карбонатных отложениях тунгусикского и широкинского стратиграфических уровней. Проявления и пункты минерализации этого формационного типа свинцово-цинкового оруденения приурочены к обрамлению Сухопитского горста. По комплексным Pb-Zn, Pb-Zn-Cu аномалиям, обнаруженным рудопроявлениям полиметаллов выделяются три предполагаемых рудных узла – Рассохинский, Пихтово-Дауглинский и Рудиковский.

Рассохинский рудный узел (площадь около 50 км<sup>2</sup>) выделяется на юго-восточном замыкании Сухопитского горста в контуре гидрохимической аномалии с повышенными (до 50–100 мкг/л) содержаниями Pb, Zn и Cu. В пределах рудного узла оконтуривается Верхне-Рассохинское рудное поле площадью до 35 км<sup>2</sup>, включающее два крупных проявления – Линейное и Лимонитовое и два мелких – Правобережное и Климовское.

Проявление Линейное приурочено к ядру антиклинали, сложенной углеродистыми и карбонатно-углеродистыми сланцами первой пачки верхнепотоскуйской свиты. Рудное тело прослежено до глубины 300–350 м, имеет мощность до 30,0 м и протяженность до 1200 м. Минеральный состав колчеданных руд представлен пиритом (80–90 %), галенитом, сфалеритом, реже встречаются халькопирит, арсенопирит, марказит, бурнонит, магнетит, пирротин, вюртцит, ильменит. Среднее содержание Pb в рудах составляет 1,09 %, Zn – 4,23 %. До глубины 120–130 м руды проявления интенсивно окислены. Прогнозные ресурсы по кат.  $P_2$  (тыс. т.) оцениваются: Pb – 200, Zn – 1300 (С. В. Горбунов, 1973; М. М. Лапшин, 1990).

Проявление Лимонитовое имеет сходные геологическое строение и состав руд. Рудная залежь прослежена на 1800 м по простиранию и 500 м по падению, мощность залежи достигает 50 м. Среднее содержание Pb 0,74 %, Zn 1,98 %. Прогнозные ресурсы по кат.  $P_1$  составляют (тыс. т): Pb – 493, Zn – 1259, по кат.  $P_2$  – 308 и 787 соответственно.

**Рассохинский свинцово-цинковый рудный узел. Стратиграфия.** Стратиграфическое расчленение образований, участвующих в стро-

ении узла, приведено по легенде Енисейской серии ГГС-200 второго поколения (Л. К. Качевский, 1990; А. Ф. Целыковский, 2000) (рис. 1).

Средний рифей. Сухопитская серия. Образования среднего рифея в структурно-тектоническом плане приурочены к Рудиковскому тектоническому шву, Сухопитскому горсту и центральной части Каменского грабена, где представлены отложениями сухопитской серии, которая по особенностям литологического состава расчленяется на горбилоскую и удерейскую свиты.

Горбилоская свита ( $RF_{2gr}$ ) с постепенным переходом залегает на породах кординской свиты. Разрез представлен неравномерным переслаиванием зеленовато-серых, темно-серых кварц-хлорит-серицитовых, серицит-хлоритовых сланцев, филлитизированных сланцев с прослоями эпидот-хлоритовых туффитовых сланцев и песчаников, серого, зеленовато-серого цвета. Мощность свиты изменяется от 600 до 800 м.

Удерейская свита ( $RF_{2ud}$ ) согласно залегает на породах горбилоской свиты. По особенностям литологического состава подразделяется на три подсвиты: нижняя сложена филлитовидными серицитовыми и кварц-хлорит-серицитовыми сланцами темно-серого, черного цвета, средняя – хлоритовыми, кварц-хлорит-серицитовыми зеленовато-серыми, темно-серыми ритмично-слоистыми сланцами; верхняя представлена флишвидным переслаиванием темно-серых, черных кварц-серицитовых филлитовидных сланцев и светло-серых слабокарбонатных линзовидных метаалевролитов. Радиологический возраст свиты по глаукониту, по данным Л. К. Качевского, составляет 1125 Ма. Общая мощность отложений свиты оценивается в 1500–1700 м.

Верхний рифей. Тунгусикская, киргитейская, широкинская серии.

Тунгусикская серия с угловым и стратиграфическим несогласием залегает на образованиях сухопитской серии. Стратиграфический объем тунгусикской серии представлен потоскуйской и шунтарской свитами.

Потоскуйская свита ( $RF_{3pt}$ ) по особенностям литологического состава подразделяется на

три подсвиты: нижнюю – карбонатно-сланцевую, среднюю – хлоритоидных сланцев и верхнюю – терригенно-сланцевую с гравелитами.

Нижняя подсвита ( $RF_{3pt_1}$ ) по особенностям литологического состава подразделяется на три пачки: первая – черные серицитовые филлиты, светло-серые серицит-хлоритовые сланцы, в средней её части – тонкокристаллические серые брекчированные доломиты с полиметаллическим оруденением; вторая – темно-серые, реже зеленовато-серые серицитовые филлиты, хлоритоидные сланцы; третья пачка – черные серицитовые с прослоями белых линзовидно-волнисто-слоистых металаевролитов филлиты, серицит-хлоритовые сланцы.

Минеральный состав серицитовых и серицит-кварцевых сланцев и алевропелитов представлен переменным количеством кварца (15–40 %), гидрослюда и серицита (30–45 %), хлорита (20–25 %), рудных минералов (до 10 %). Темноцветные разности пород содержат до 10 % углеродисто-глинистого вещества.

Общая мощность нижней подсвиты оценивается в 400–1500 м.

Верхняя подсвита ( $RF_{3pt_2}$ ) по особенностям литологического состава подразделяется на три пачки: первую – карбонатно-углеродисто-сланцевую, вторую – сланцевую и третью – карбонатную.

Первая пачка ( $RF_{3pt_2^1}$ ) согласно залегает на породах третьей пачки нижнепотоскуйской подсвиты. Она сложена высокоуглеродистыми филлитами серицитовыми, серицит-кварцевыми и хлоритоидными черными, серыми и темно-серыми с прослоями бурых известково-серицитовых сланцев, известняками глинисто-серицитовыми. Отложения пачки вмещают промышленное колчеданно-полиметаллическое оруденение. Мощность пачки оценивается в 550–650 м.

Вторая пачка ( $RF_{3pt_2^2}$ ) представлена серицитовыми филлитами, серицит-кварцевыми алевритовыми сланцами, кварцевыми металаевролитами, хлоритоидными градационно-слоистыми темно-серыми сланцами. Встречаются редкие линзы доломитовых известняков. Мощность пачки составляет 650 м.



**Рис. 1. Геологическая карта района Рассохинского рудного узла (А. Ф. Целыковский, 2000, с дополнениями):**

1 – четвертичные отложения ( $aQ^{III}$ ); 2 – кирнаевская свита ( $N_{1-2}kr$ ); 3 – бельская свита ( $N_1bl$ ); 4 – макаровская свита ( $J_1mk$ ); 5 – каменноугольные отложения; 6 – девонские отложения; 7 – широкинская серия: горевская ( $RF_3gv$ ), сухохребтинская ( $RF_3sh$ ) свиты; 8 – киргитейская серия (стефановская толща,  $RF_3st$ ); 9 – тунгусикская серия ( $RF_3tg$ ); 10 – сухопитская серия: горбилоская ( $RF_2gr$ ), удерейская ( $RF_2ud$ ) свиты; 11 – среднетатарский нефелин-сиенитовый комплекс ( $V_1st$ ); 12 – свинцово-цинковые рудные узлы Ангарского рудного района (установленные и прогнозируемые): Рассохинский (1), Верхне-Рудиковский (2), Долгинский (3), Блохинский (4), Горевский (5); 13 – проявления свинца и цинка: Лимонитовое (1), Линейное (2), Долгое (3), Анатольевское (4), Рудаковское (5); 14 – контур лицензии КРП 03357 ТП; 15 – геологические границы; 16 – разломы; 17 – надвиги

**Fig. 1. Geological map of the Rassokhinsky ore cluster area (after A. F. Tselykovsky, 2000, updated):**

1 – Quaternary deposits ( $aQ^{III}$ ); 2 – Kirnaevskaya suite ( $N_{1-2}kr$ ); 3 – Belskaya suite ( $N_1bl$ ); 4 – Makarovskaya suite ( $J_1mk$ ); 5 – Carboniferous deposits; 6 – Devonian deposits; 7 – Shirokinskaya series: Gorevskaya ( $RF_3gv$ ), Sukhokhrebtsinskaya ( $RF_3sh$ ) suites; 8 – Kirgiteiskaya series (Stepanovskaya sequence,  $RF_3st$ ); 9 – Tungusiskaya series ( $RF_3tg$ ); 10 – Sukhopitskaya series: Gorbilokskaya ( $RF_2gr$ ), Udereiskaya ( $RF_2ud$ ) suites; 11 – Middle Tatar nepheline-syenite complex ( $V_1st$ ); 12 – lead-zinc ore clusters of Angarsky ore district (identified and forecasted): Rassokhinsky (1), Verkhne-Rudikovskiy (2), Dolginsky (3), Blokhinsky (4), Gorevskiy (5); 13 – Pb and Zn occurrences: Limonitovoye (1), Lineinoye (2), Dolgoe (3), Anatolievskoye (4), Rudakovskoye (5); 14 – lease contour КРП 03357 ТП; 15 – geological boundaries; 16 – faults; 17 – thrusts

Третья пачка ( $RF_{3pt}^3$ ) в разрезе верхней подсвиты представлена железистыми доломитами, доломитовыми известняками массивными, брекчиевидными тёмно-серого цвета с прослоями зеленовато-серых хлоритоидных, серицит-кварцевых сланцев. Мощность пачки 560–650 м.

Общая мощность верхней подсвиты составляет 1700–1900 м.

Общая мощность потоскуйской свиты оценивается в 2900–3200 м.

Породы потоскуйской свиты характеризуются повышенным содержанием Pb, Cu, Zn, V, Co, Cr, Ni, Mn, Ni, Ga, Ba, особенно в карбонатных породах верхней подсвиты, где количество  $Pb_2O_5$  по отдельным пробам достигает 0,76 %.

Позднерифейский возраст потоскуйской свиты устанавливается по её положению в основании тунгусикской серии, имеющей К/Ar датировку по глаукониту 955 Ма, подтверждается Rb/Sr определением возраста гранитов Татарско-Аяхтинского комплекса, прорывающих серию -943 Ма (Л. К. Качевский, 1990), а также наличием строматолитов *Conophyton confertus Semikh.* в известняках и доломитах в верхней части свиты (А. Ф. Целыковский, 2000).

Шунтарская свита ( $RF_3sn$ ) венчает разрез тунгусикской серии. Свита представлена переслаиванием хлоритовых и серицитовых филлитов, участками углеродистых с редкими прослоями серицит-кварцевых алевритовых сланцев, линзами и прослоями чёрных глинистых известняков, известково-серицитовых сланцев с прослоями доломитовых известняков в верхней части. Мощность свиты оценивается в 700 м.

Киргитейская серия объединяет карбонатно-сланцевые отложения, выделяемые в удоронгскую свиту и стефановскую толщу.

Удоронгская свита ( $RF_3ur$ ) представлена переслаиванием пестроцветных кварцитовидных алевропесчаников с глинисто-серицитовыми алевритистыми тёмно-серыми и чёрными сланцами, в верхней части тёмно-серыми и чёрными глинисто-серицитовыми углеродистыми сланцами с зеленовато-серыми сланцами и кварцитовидными алевропесчаниками. Видимая мощность свиты 500 м.

Стефановская толща ( $RF_3st$ ) согласно залегает на породах удоронгской свиты. По особенностям литологического состава подразделяется на три подтолщи: нижнюю – карбонатно-сланцевую пестроцветную, среднюю – алев-



ро-сланцевую и верхнюю – черносланцевую. Общая мощность толщи превышает 1400 м.

Широкинская серия по литологическому составу подразделяется на горевскую вулканогенно-карбонатную и сухохребтинскую вулканогенно-терригенную свиты.

Горевская свита ( $RF_3gv$ ) по особенностям литологического состава подразделяется на три подсвиты: нижнюю – углеродисто-сланцево-известковистую, среднюю – карбонатно-сланцевую флишеоидную и верхнюю – сланцево-доломитовую.

Отложения верхней подсвиты вмещают промышленное полиметаллическое оруденение Горевского месторождения.

Микроэлементный состав горевской свиты во всех разрезах выделяется высокими концентрациями Pb, Zn, Cu, Mn, Cr, V, Co (в 2–4 раза выше кларка).

Позднерифейский возраст горевской свиты устанавливается по её положению в разрезе выше киргитейской серии и по определению радиологического возраста свинцово-цинкового оруденения. По данным В. Г. Пономарёва, возраст минералов свинца Ангарского рудного района составляет 850–950 Ма, Горевского месторождения – 850 Ма. Этому не противоречат определения возраста U-Th-Rb методом (по монациту) гранитоидов стрелковского комплекса  $950 \pm 115$  Ма и долеритов степановского комплекса 915 Ма [1].

Сухохребтинская свита ( $RF_3sh$ ) согласно закладывается на породах горевской свиты. По особенностям литологического состава подразделяется на две подсвиты: нижнюю вулканогенно-сланцевую и верхнюю терригенную.

Меловая и палеогеновая системы нерасчленённые. Коры выветривания ( $K-P_2$ ).

Мел-палеогеновые коры выветривания фрагментарно сохранились на приподнятых участках рельефа и вдоль зон тектонических нарушений.

Процессы корообразования наиболее активно проявились на участках распространения литологически неоднородных терригенных, карбонатных, вулканогенных пород тунгусикской, киргитейской, широкинской и сухохребтинской серий. Приуроченность кор

выветривания к зонам тектонических нарушений обусловила их линейно-площадной характер распространения. Выделяются открытые и погребённые коры под толщей палеоген-неогеновых и четвертичных отложений. В общем виде в профиле зрелой коры условно выделяются четыре зоны (снизу вверх):

1. Зона дезинтеграции – начального преобразования коренных пород с незначительным изменением их минерального состава (1–50 м).

2. Зона гидратации – промежуточного разложения пород с формированием пёстроокрашенных продуктов смешанного каолинит-монтмориллонитового состава (10–50 м).

3. Зона гидролиза – конечного разложения исходных пород и формирования глин каолинитового состава белой, серой, буровато-красной окраски (до 20 м).

4. Зона обогащения каолинит-гиббситовая (обычно размыта).

Наиболее интенсивное корообразование наблюдается по породам потоскуйской, горевской и сухохребтинской свит, особенно в зонах разрывных нарушений; процесс развивается до глубины 250–400 м.

Возраст кор выветривания – ранний мел – палеоген (А. Ф. Целыковский, 1997).

*Интрузивные образования* в пределах Рассохинского рудного узла установлены скважинами на уч. Линейный и представлены дайками диабазов токминского комплекса рифея.

*Тектоника.* Территория Рассохинского рудного узла приурочена к району Рассохинского грабена Приенисейского антиклинория байкалид Енисейского кряжа. Грабен имеет субширотное простирание, сложен терригенно-карбонатными формациями тунгусикской, киргитейской и широкинской серий, его борта осложнены Огневской системой разрывных нарушений.

В тектоническом строении рудного узла выделяются три мегакомплекс: рифейский, мезозойский и кайнозойский. Рифейский мегакомплекс образует основание Сибирской платформы. Мезозойский и кайнозойский мегакомплексы слагают платформенный комплекс (чехол) Сибирской платформы.

Рифейский мегакомплекс объединяет три структурных яруса: ранне-среднерифейский сухопитский и позднерифейские тунгусикский и широкоинский. В региональном плане между ярусами прослежены поверхности углового несогласия. На площади ярусы отличаются друг от друга характером и интенсивностью складчатости, типами структур, разделены между собой тектоническими контактами.

Сухопитский структурный ярус сложен карбонатно-алевритно-сланцевой и аспидной формациями. Породы яруса участвуют в строении Сухопитского горста, для которого характерно развитие хорошо выраженных линейных асимметричных складок с углами падения на крыльях  $60\text{--}80^\circ$ , размеры которых достигают  $6 \times 20$  км.

Тунгусикский структурный ярус сложен отложениями карбонатно-терригенной формации (потоскуйская свита). Главная структура яруса – Рассохинский грабен, в котором развиты мелкие линейные складки субширотного и северо-восточного простирания с углами падения крыльев  $60\text{--}70^\circ$ , реже до  $85^\circ$ .

Широкийнский структурный ярус представлен породами вулканогенно-карбонатной (горевская свита) и вулканогенно-терригенной (сухохребтинская свита) формаций. В зоне выделяются антиклинальные и синклинали складки более высокого порядка: линейные, овальные, брахиформные, с ориентировкой осей складок на северо-северо-запад, восток-северо-восток и запад-северо-запад. Углы падения крыльев линейных складок  $60\text{--}80^\circ$ , овальных и брахиформных – от  $15\text{--}20$  до  $30\text{--}60^\circ$ .

Мезозойский мегакомплекс представлен угленосной терригенной формацией юрского и терригенной формацией мелового структурного яруса. Отложения мегакомплекса залегают субгоризонтально. С приближением к бортам впадин и в приразломных зонах осадки дислоцируются с появлением пloyчатости с углами падения крыльев складок до  $70^\circ$ .

Кайнозойский мегакомплекс представлен палеоген-неогеновым и четвертичным структурными ярусами. Первый включает глинисто-песчано-грубообломочную (бельская свита)

и песчано-грубообломочную (кирнаевская свита) формации и коры выветривания в виде эрозионных останцов, развитые в наложенных впадинах.

Отложения рифея в пределах рудного узла смяты в относительно крупные складки с размахом крыльев до  $4\text{--}5$  км, которые осложнены более мелкими шириной от десятков до сотен метров. Наиболее крупными, по данным предшественников (С. В. Горбунов, 1973), являются две брахиформные синклинали складки. Одна из них с размахом крыльев  $2,0\text{--}2,5$  км и протяжённостью  $4,0\text{--}4,5$  км расположена на площади водораздела между верховьями рек Большая Рассоха и Долгая. Вторая складка занимает всю центральную часть рудного узла южнее участков Линейный и Правобережный. Размах крыльев  $5$  км, длина около  $7\text{--}8$  км.

Обе синклинали отделены друг от друга узкой ( $1,0\text{--}1,5$  км) антиклинальной складкой участков Линейный и Правобережный, которая вместе с аналогичной складкой участка Лимонитовый обрамляет первую из этих синклиналей с запада, востока и юга. Протяжённость антиклиналей участков Линейный и Правобережный  $8$  км, а участка Лимонитовый  $6$  км. В ядрах этих складок обнажаются чёрные серицит-кварцевые высокоуглеродистые сланцы с колчеданами (потоскуйская свита, пачка 1), а крылья сложены серицитовыми, серицит-кварцевыми тёмно-серыми градационно-слоистыми, хлоритоидными сланцами, известняками (потоскуйская свита, пачка 2).

Среди высокоуглеродистых сланцев в северных крыльях обеих антиклинальных складок на Линейном и Лимонитовом участках установлены залежи колчеданных свинцово-цинковых руд предположительно гидротермально-осадочного генезиса.

По данным предшественников (С. В. Горбунов, 1973), предполагается, что в мульде северной синклинали могли накапливаться конседиментационные залежи гидротермально-осадочных свинцово-цинковых руд, более крупные и богатые по сравнению с теми, которые известны в крыльях этой складки. Положение этих залежей, возможно, фиксирует известная здесь локальная аномалия силы тяжести

**Табл. 1. Характеристика рудных интервалов участка Линейный (С. В. Горбунов, 1973)**

Table 1. Characterization of Lineiny area ore intervals (Gorbunov, 1973)

| Номера скважин | Интервал, м | Мощность по керну, м | Содержание, % |      | Отношение Pb : Zn |
|----------------|-------------|----------------------|---------------|------|-------------------|
|                |             |                      | Pb            | Zn   |                   |
| 258            | 21–66,4     | 45,4                 | 2,01          | 1,00 | 2 : 1             |
| 217a           | 228–286,8   | 58,8                 | 0,20          | 1,12 | 1 : 5,5           |
| 219            | 177,5–350,0 | 177,5                | 0,75          | 2,10 | 1 : 3             |
| 910            | 237–511     | 274,0                | 0,64          | 2,02 | 1 : 3,5           |

интенсивностью 2,5–3,0 мгл при размере порядка  $1,5 \times 2,0$  км (Мукомело, 1972, 1973).

Доминирующей разрывной структурой в пределах Рассохинского рудного узла является Огневская система дизъюнктивов сбросо- или сбросо-сдвигового характера. Разломы, как правило, сопровождаются образованием тектонитов, представляющих собой зоны интенсивно рассланцованных, окварцованных, хлоритизированных и карбонатизированных пород. Мощность зон тектонитов иногда достигает 1,0–1,5 км. Наиболее мощные из этих зон распространены в районе участков Линейный, Правобережный, Лимонитовый и Климовский.

**Геология и рудоносность участка Лимонитовый.** Участок расположен в верховьях рек Большая Рассоха, Малая Рассоха и Долгая в 3 км к северо-востоку от участка Линейный, в 30 км севернее Горевского месторождения. Рудопоявление выявлено в 1959 г. при геологической съёмке масштаба 1 : 200 000 по развалам бурых железняков (Л. Г. Саванович, 1961, 1962). В 1969 г. поверхность участка была изучена шурфами по сети от  $100 \times 100$  до  $200 \times 200$  м, а в 1972 г. проводились поиски рудных залежей с применением скважин колонкового бурения (С. В. Горбунов, 1973). В 1990 г. поиски были продолжены (М. М. Лапшин, 1990), была пробурена глубокая скважина 910, вскрывшая полиметаллическое оруденение.

Поисковыми работами предшественников по оценке масштабов свинцово-цинковых руд в пределах Рассохинского и Дауглинского рудных узлов на участках Линейный, Лимонитовый, Правобережный и других в первом

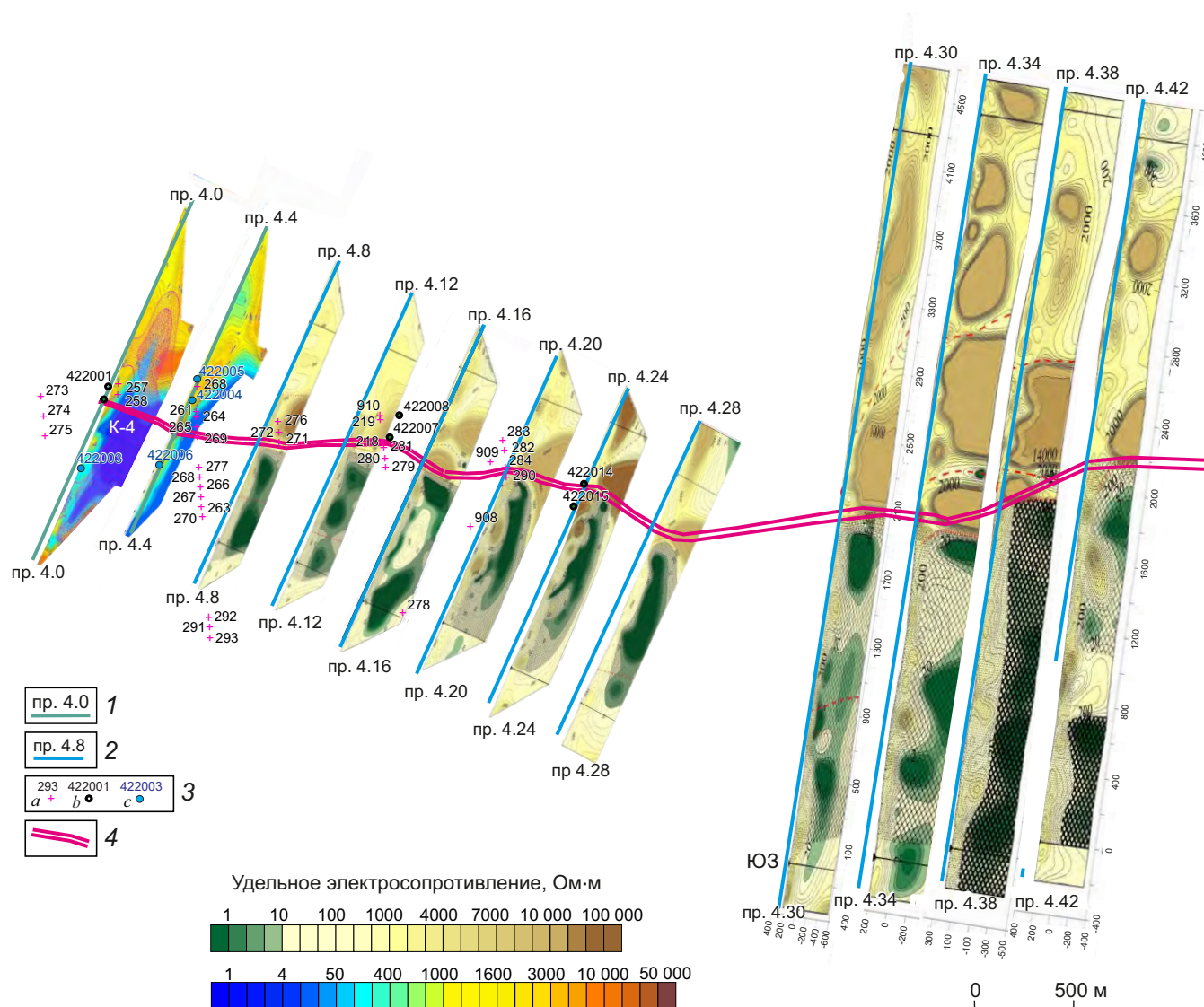
приближении установлено, что колчеданное свинцово-цинковое оруденение гидротермально-осадочного генезиса приурочено к толще углеродисто-глинистых сланцев (С. В. Горбунов, 1973).

В пределах участка были выделены перспективные геофизические аномалии, после заверки которых колонковыми скважинами получены два пересечения серно-колчеданных руд скважинами 258, 217a (ПЛ-3) и 910 (ПЛ-16). Большие мощности рудных интервалов по керну скважин получены вследствие крутого падения рудных залежей на северо-северо-восток и острого угла встречи ( $15\text{--}20^\circ$ ) скважинами с залежью (табл. 1).

По результатам бурения предшественников на участке Лимонитовый серно-колчеданные руды не прослеживаются по падению и представляют собой линзовидные тела. Морфология рудных тел недостаточно изучена. Предполагаемая протяжённость рудного тела 1,5–2,0 км. Восточная часть участка не изучена. Выявленные предшественниками геофизические аномалии требуют уточнения и заверки.

Главное значение для поисков таких руд имеют литолого-стратиграфические критерии, позволяющие установить местоположение стратифицированных рудоносных толщ (зон) в разрезе в верхней части пачки углеродистых сланцев.

Далее структурная и литолого-стратиграфическая приуроченность оруденения на участках Рассохинского узла была исследована профильными электроразведочными работами ООО «Тянь-Шань Лтд» (2018 г.) и ООО НПП «Прогнозгеофизика» (2020 г.) (рис. 2).



**Рис. 2. План размещения профилей электроразведочных работ ВП-2Д с элементами геолого-геофизической интерпретации на участке Лимонитовый:**

профили геоэлектрических разрезов, выполненные силами: 1 – ООО «Тянь-Шань Лтд», 2 – ООО НПП «Прогнозгеофизика»; 3 – поисковые скважины: а – предшествующие, б – бурящиеся, с – проектные; 4 – зона перехода от высокоомных (сланцы кварц-серицитовые, градационно-слоистые, тёмно-серые, слабоуглеродистые, вторая пачка) к низкоомным (сланцы кварц-серицитовые, хлорит-серицит-кварцевые, высокоуглеродистые, первая пачка) областям электрического сопротивления

**Fig. 2. Layout plan for electrical exploration profiles VP-2D with elements of geological and geophysical interpretation at the Limonite area:**

geoelectric section profiles by: 1 – LLC Tien-Shan, 2 – LLC SPE Prognozgeophysics; 3 – prospecting holes: а – previous, б – currently drilled, с – designed; 4 – transition zones from high-impedance (quartz-sericite, gradationally stratified, dark gray, low-carbon shales, second pack) to low-impedance (quartz-sericite, chlorite-sericite-quartz, high-carbon shale, first pack) electrical resistance fields

ООО «Тянь-Шань Лтд» проведены работы методом полюс-дипольной вызванной поляризации (П-Д ВП) на участках Линейный, Правобережный и Лимонитовый.

На участке Лимонитовый удельное электрическое сопротивление распределяется следующим образом:

- углисто-глинистые, углистые, графитизированные сланцы – 10–150 Ом-м;
- графитизированные и углистые известняки, выветрелые известково-глинистые сланцы – 20–150 Ом-м;
- трещиноватые известняки – 150–800 Ом-м;
- карбонатные породы – 1000–4500 Ом-м;
- алеврито-глинистые, кварц-серицитовые сланцы и кварциты – 1000–5000 Ом-м;
- сплошные руды – первые единицы Ом-м.

Поляризуемость распределяется следующим образом:

- известняки, алеврито-глинистые, глинистые и другие сланцы – 0,4–3,0 %;
- известняки с вкрапленностью сульфидов – 2–45 %;
- углистые сланцы – 7–15 %;
- графитизированные и пиритизированные углистые сланцы – 15–50 %;
- полиметаллические руды в зоне окисления – 12–18 %;
- сплошные полиметаллические руды – 20–50 %.

ООО НПП «Прогнозгеофизика» проведены работы на участке Лимонитовый на 11-ти профилях комбинированным методом измерения сопротивления и вызванной поляризации с трёхэлектродной установкой двухстороннего точечного зондирования на глубину 600 м и шагом 100 м по профилю.

Построенные по данным точечного зондирования модели геоэлектрических разрезов характеризуются высокой степенью латеральной и вертикальной неоднородности электрического сопротивления (изменяющегося от единиц до десятков тысяч Ом-м) и вызванной поляризации (изменяющейся в диапазоне от первых десятых долей до десятков процентов, включая отрицательные значения).

Латеральная неоднородность геоэлектрических разрезов связана с наличием в разре-

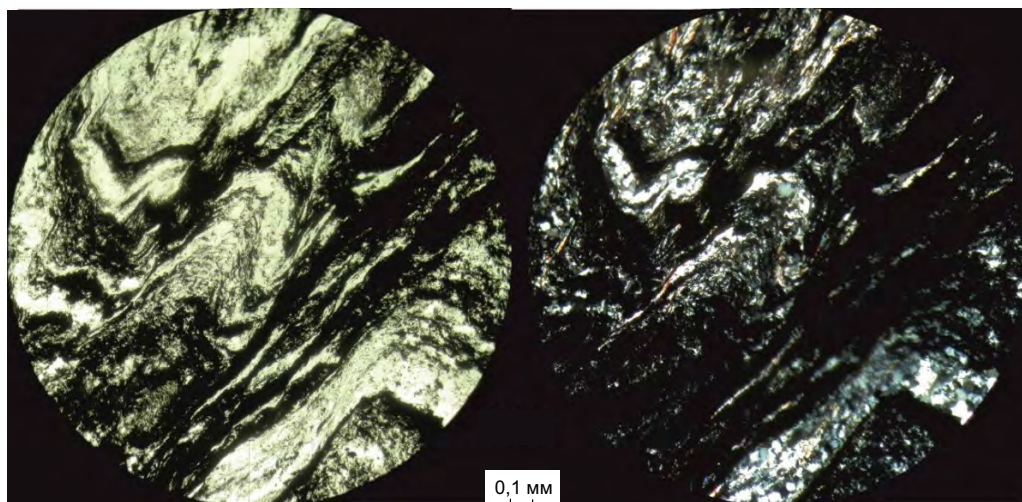
зах мощных толщ углеродистых пород и субвертикальных или сильнонаклонных границ, разделяющих существенно углеродистые и существенно силикатные породы.

В качестве рабочей поисковой модели полиметаллического оруденения рассохинского типа по данным Ангарской ГРЭ, ООО НПП «Прогнозгеофизика» и ООО «Тянь-Шань Лтд» принята модель оруденения, развитого на рудоконтролирующем контакте низкоомных углеродистых пород с экранирующими их со стороны висячего бока более высокоомными породами.

Такая модель в целом не противоречит и геологическим данным, согласно которым колчеданные свинцово-цинковые руды залегают среди высокоуглеродистых пиритизированных сланцев (рис. 3), подстилаются углеродсодержащими известковистыми сланцами и карбонатными породами и перекрываются градационно-слоистыми слабоуглеродистыми хлорит-серицит-кварцевыми, актинолит-хлоритовыми сланцами, так называемыми полосатиками (рис. 4).

Геолого-структурная позиция участка Лимонитовый определяется отложениями верхней подсвиты потоскуйской свиты верхнего рифея. Здесь они смяты в антиклинальную складку с размахом крыльев до 1 км, осложнённую локальными складками и разрывными нарушениями. В ядре антиклинали обнажаются глинистые известняки, глинистые и известково-глинистые сланцы, сменяющиеся кверху чёрными высокоуглеродистыми пиритизированными сланцами, вмещающими залежь слоистых колчеданно-полиметаллических руд (пачка 1), а крылья сложены полосчато-слоистыми, градационно-слоистыми сланцами, серыми и тёмно-серыми слабоуглеродистыми глинистыми сланцами (пачка 2).

В северном крыле складки в составе изученной бурением пачки 1 преобладают чёрные высокоуглеродистые, сажистые сланцы и слоистые колчеданно-полиметаллические руды (неполная вскрытая скважинами стволовая мощность сланцев – до 320 м, в том числе колчеданных руд 75–140 м), которые, по-видимому, образуют сплошной линзующийся

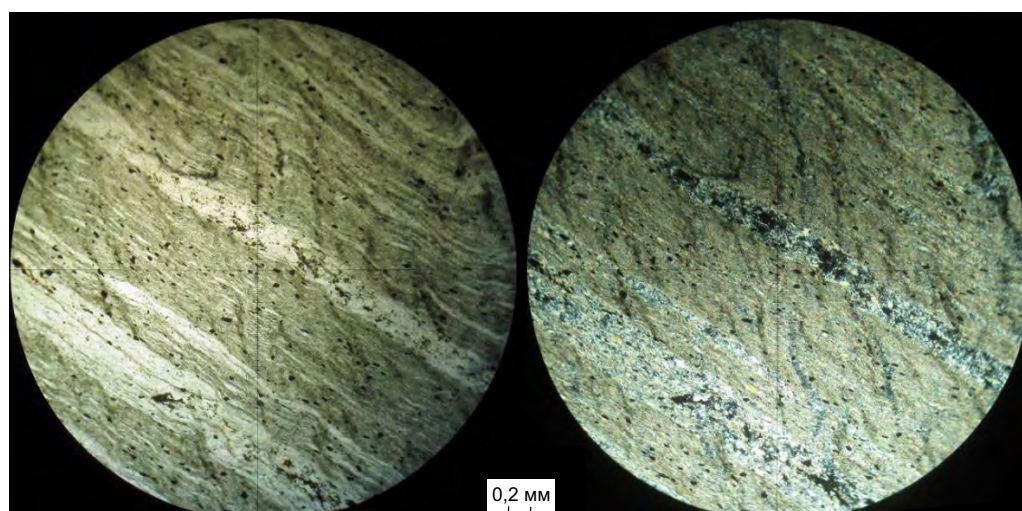


**Рис. 3. Сланец серицит-кварцевый высокоуглеродистый. Порода окварцована и сульфидизирована:**

тёмное – практически непрозрачные прослои и линзы, обогащённые пылевидным углеродистым веществом и сульфидами. Слева – без анализатора, справа – николи скрещены. Шлиф 422001-176,4 (по данным О. Ю. Перфиловой)

**Fig. 3. Sericite-quartz high-carbon shale, quartzified and sulfidized:**

dark: nearly opaque bands and lenses enriched in pulverized carbonaceous matter and sulfides. Left: no analyzer, right: crossed nicols. Polished section 422001-176,4 (based on O. Yu. Perfilova data)



**Рис. 4. Сланец серицит-кварцевый полосчатый градационно-слоистый (чередуются тонкие прослои кварц-серицитового, существенно серицитового с тонкодисперсным углеродистым веществом и серицит-кварцевого составов «полосатики»:**

слева – без анализатора, справа – николи скрещены. Шлиф 422008-184,1 (по данным О. Ю. Перфиловой)

**Fig. 4. Sericite-quartz banded gradationally stratified shale (alternation of quartz-sericite, essentially sericite, finely dispersed carbonaceous and sericite-quartz bands):**

left: no analyzer, right: crossed nicols. Polished section 422008-184,1 (based on O. Yu. Perfilova data)

горизонт. В перекрывающей пачке 2 преобладают тонкополосчатые градационно-слоистые слабоуглеродистые сланцы, местами известковистые (неполная вскрытая скважинами стволовая мощность составляет более 300 м).

По этим отложениям на участке развиты коры выветривания, представленные бурыми железняками, дресвяно-щебнисто-глинистыми и глинистыми образованиями мощностью 50–100 м, а местами интенсивно выветрелые сланцы и колчеданные руды распространяются до глубины 350 м.

На участке по данным электроразведки ВП-2D были спроектированы профили поискового бурения (в основном в пределах северного крыла антиклинали). После проходки трёх профилей на поисковых линиях РЛ-92 (скв. 422001, 422002), РЛ-78 (скв. 422007, 422008) и РЛ-68 (скв. 422014, 422015) (см. рис. 2) вскрыта и прослежена по простиранию на 2400 м, по падению на 250–380 м (до глубины 300 м). Рудная зона 1 колчеданно-полиметаллических свинцово-цинковых руд, локализованная в северном крыле антиклинали среди чёрных высокоуглеродистых сланцев. Мощность рудной залежи 57–65 м (РЛ-92), 48–56 м (РЛ-78), 20–35 м (РЛ-68), простирание субширотное, падение вначале крутое (70–85°) на север (РЛ-92, 78), а далее на восток залежь выкручивается и на профиле РЛ-68 её падение изменяется от вертикального до крутого южного (табл. 2).

Разрез рудовмещающей толщи по скв. 422008 представлен двумя пачками верхней подсвиты потоскуйской свиты: вторая пачка – серицитовые, кварц-серицитовые градационно-слоистые слабоуглеродистые сланцы («полосатики»), первая – серицитовые, кварц-серицитовые высокоуглеродистые сланцы, в кровле – колчеданы, в подошве – известковистые сланцы, известняки (рудонесная толща) (см. рис. 3, 4).

По данным изучения образцов керна руда колчеданно-полиметаллическая, сплошная, полосчатая нередко преобладает. Текстура массивная, полосчатая, структура аллотриоморфнометазернистая, гипидиоморфнометазернистая, глобулярная (фрамбоидальная), интерстициальная (рис. 5, 6).

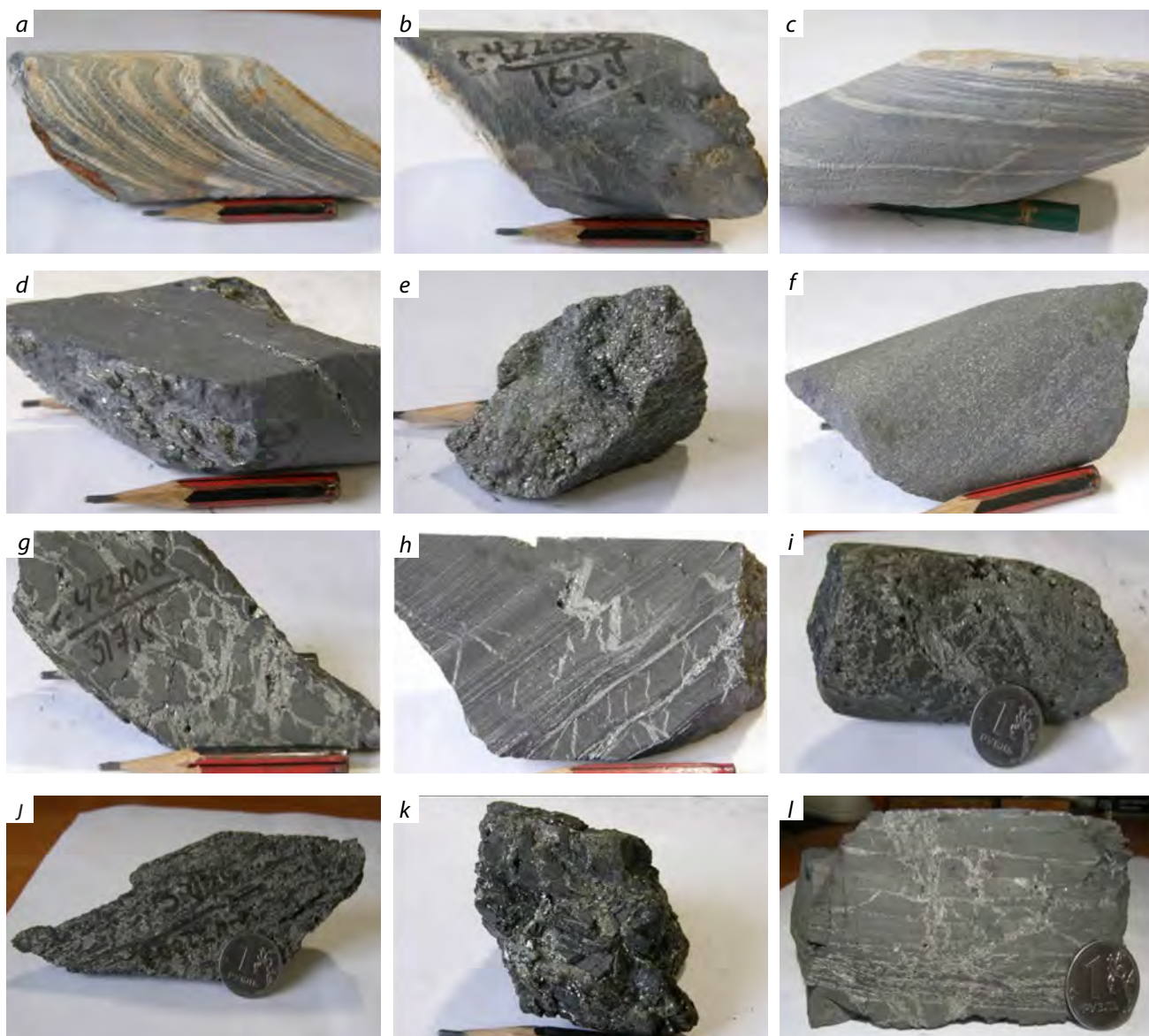
Руды представляют собой слоистые образования (мощность слоев до 0,5–2 см) очень тонкозернистого агрегата существенно пиритового состава (пирит-1), интенсивно катаклазированные и рассечённые густой сетью прожилков (до 1–5 мм) мелко- и среднекристаллического пирита-2 с вкрапленностью галенита, сфалерита, гринокита (рис. 7, см. рис. 6).

Пирит в руде доминирует и представлен несколькими формами, вероятно, отражающими его генерации. Ранняя генерация, пирит-1, морфологически представлена двумя типами (см. рис. 6).

**Табл. 2. Характеристика рудных зон по скважинам участка Лимонитовый**

Table 2. Ore zone characterization by Limonite area holes

| Номера скважин | Интервал, м | Мощность по керну, м | Содержание по данным опробования РФА (по ICP-AES), % |                      | Отношение Pb : Zn |
|----------------|-------------|----------------------|------------------------------------------------------|----------------------|-------------------|
|                |             |                      | Pb                                                   | Zn                   |                   |
| 422001         | 22–123      | 101                  | 0,1–3,6 (0,1–1,3)                                    | 0,3–53,8 (0,1–3,2)   | 1 : 1,1           |
| 422002         | 140–215     | 85                   | 0,1–7,56 (0,1–1,8)                                   | 1,28–32,18 (0,1–2,9) | 1 : (3–5)         |
| 422007         | 31–171      | 140                  | 0,1–28,57 (0,1–3,7)                                  | 1,21–78,64 (0,1–4,7) | 1 : (5–10)        |
| 422008         | 277–377     | 100                  | 0,58–24,67 (0,1–1,9)                                 | 0,42–68,41 (0,1–6,4) | 1 : (5–10)        |
| 422014         | 180–255     | 75                   | 0,85–32,01                                           | 1,1–11,05            | 1 : (0,1–1,0)     |
| 422015         | 12–134      | 122                  | 1,1–24,99                                            | 0,5–4,25             | 1 : (0,1–0,5)     |

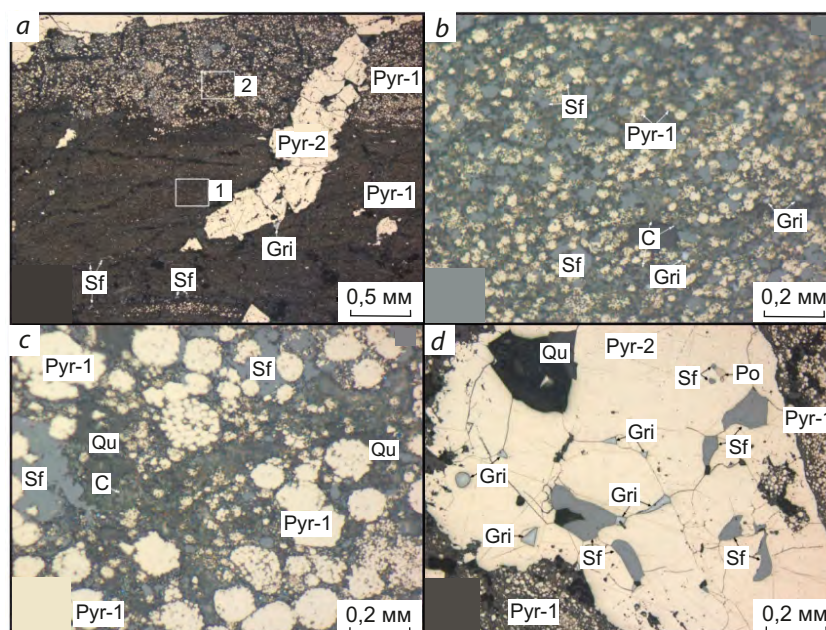


**Рис. 5. Образцы пород и руд. Скв. 422008. Интервал 0,0–357,3 м:**

сланец серицит-кварцевый: *a* – тонкополосчатый (31,4 м), *b* – полосчатый (160,4 м), *c* – полосчатый осветлённый (84,1 м); *d* – углеродистый сланец с прослойками пирита (281,7 м); колчеданная руда: *e* – брекчиевидная (296,7 м), *f* – тонкозернистая полосчатая (299,4 м), *g* – брекчиевидная (317,5 м), *h* – тонкополосчатая брекчиевидная (323,7 м), *i* – брекчиевидная (326 м), *j* – криптокристаллическая полосчатая (340,5 м), *k* – брекчиевидная (сфалерит, галенит, пирит) (353,8 м), *l* – слоисто-полосчатая брекчиевидная (357,3 м)

**Fig. 5. Rocks and ores samples. Hole 422008. Interval 0.0–357.3 m:**

sericite-quartz shale: *a* – finely banded (31.4 m depth), *b* – banded (160.4 m), *c* – banded bleached (184.1 m); *d* – pyrite-banded carbonaceous shale (281.7 m), massive sulfide ore: *e* – brecciated (296.7 m), *f* – fine-grained banded (299.4 m), *g* – brecciated (317.5 m), *h* – finely banded brecciated (323.7 m), *i* – brecciated (326 m), *j* – cryptocrystalline banded (340.5 m), *k* – (sphalerite, galena, pyrite) brecciated (353.8 m), *l* – layered banded brecciated (357.3 m)

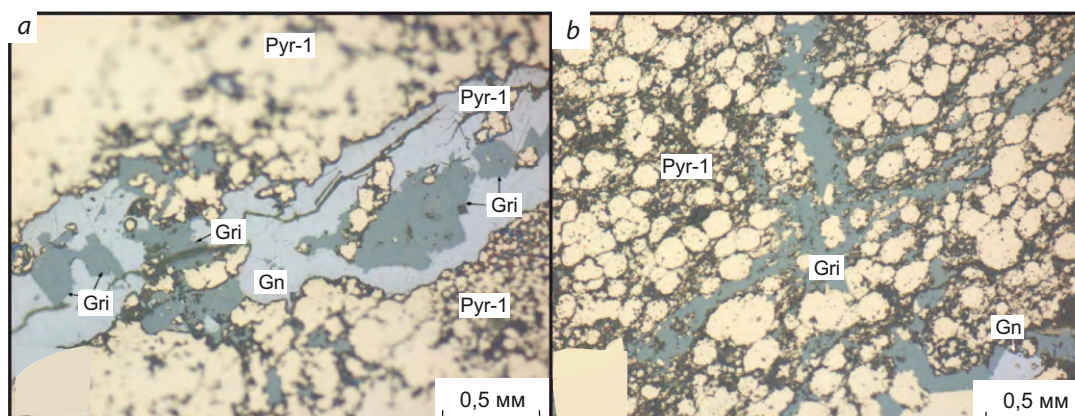


**Рис. 6. Генерации пирита:**

*a* – слои двух типов пирита-1; *b* – деталь 1 рис. 6, *a*; *c* – деталь 2 рис. 6, *a*; *d* – пирит-2 с включениями пирита-1 (Pyr-1); пирит-2 (Pyr-2), гринокит (Gri), сфалерит (Sf), кварц (Qu), углеродистое вещество (C), пирротин (Po)

**Fig. 6. Pyrite generations:**

*a* – layers of two types of pyrite-1; *b* – detail 1 Fig. 6, *a*; *c* – detail 2 Fig. 6, *a*; *d* – pyrite-2 with pyrite-1 inclusions (Pyr-1), pyrite 2 (Pyr-2), greenockite (Gri), sphalerite (Sf), quartz (Qu), carbonaceous matter (C), pyrrhotite (Po)



**Рис. 7. Гринокит в аншлифах и его взаимоотношение с минералами:**

*a* – прожилки галенита с включениями зёрен гринокита; *b* – прожилки гринокита среди пиритосфер пирита-1; Gn – галенит; остальные усл. обозн. см. рис. 6

**Fig. 7. Greenockite in polished sections and its relationship with minerals:**

*a* – galena veinlets with greenockite grain inclusions; *b* – greenockite veinlets among pyrite-1 spheres; Gri – greenockite; see Fig. 6 for other legend

Первый тип образует полосчатые (слоистые) участки сплошного тонкозернистого пирита. В отдельных аншлифах тонкозернистый пирит имеет глобулярное строение, в других – представлен микронными кубическими кристаллами. Часто глобулярный пирит цементируется округлыми фрамбоидами сфалерита ранней генерации (см. рис. 6, а).

Для второго типа тонкозернистого пирита характерны маломощные прослои с округлыми пиритосферами размером до  $0,025 \times (0,025 - 0,035) \times 0,035$  мм (см. рис. 6, с).

Слои раннего пирита сопровождается большое количество углеродистого материала, заполняющего все интерстиции (см. рис. 6, а, б).

Вторая генерация пирита (пирит-2) представлена прожилками мощностью от 5 мкм до 5 мм. Строение крупных прожилков гранобластовое. В составе прожилков отмечаются мелкие включения сфалерита, галенита, меньше пирротина, расположенные в зёрнах пирита или в интерстициях его зёрен (см. рис. 6, d).

Анализ химического состава минералов (пирит, галенит, сфалерит, гринокит) выполнен в лаборатории СФУ на аппаратуре Tescan Vega 3 SBH, ЭДС-анализатор Oxford X-Act (аналитик Б. М. Лобастов). Химические составы пиритов обеих генераций слабо отличаются друг от друга (табл. 3).

Сфалерит – второй по распространённости рудный минерал участка. Образует, предположительно, также две генерации. Ранняя генерация – мелкие (первые микроны) фрамбоидальные зёрна, расположенные в слоистых участках пирита-1 (см. рис. 6, а). Размеры фрамбоидов сфалерита до 0,016–0,020 мм. Вторая генерация развита в межзерновом пространстве агрегатов и прожилков пирита-2, где образует различные по форме включения (см. рис. 6, с). Выделения второй генерации сфалерита имеют значительно более крупные размеры, до  $1,0 \times 1,6$  мм. В отдельных образцах отмечаются сфалеритовые прожилки мощностью до 0,25–0,30 мм, содержащие включения мелких зёрен галенита.

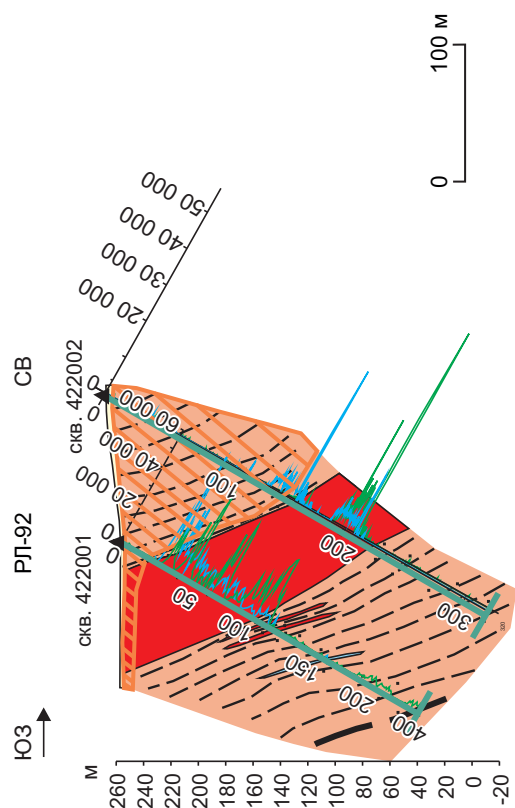
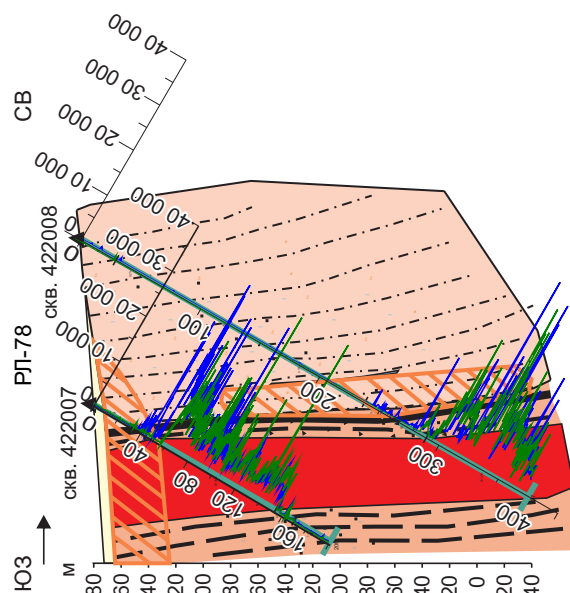
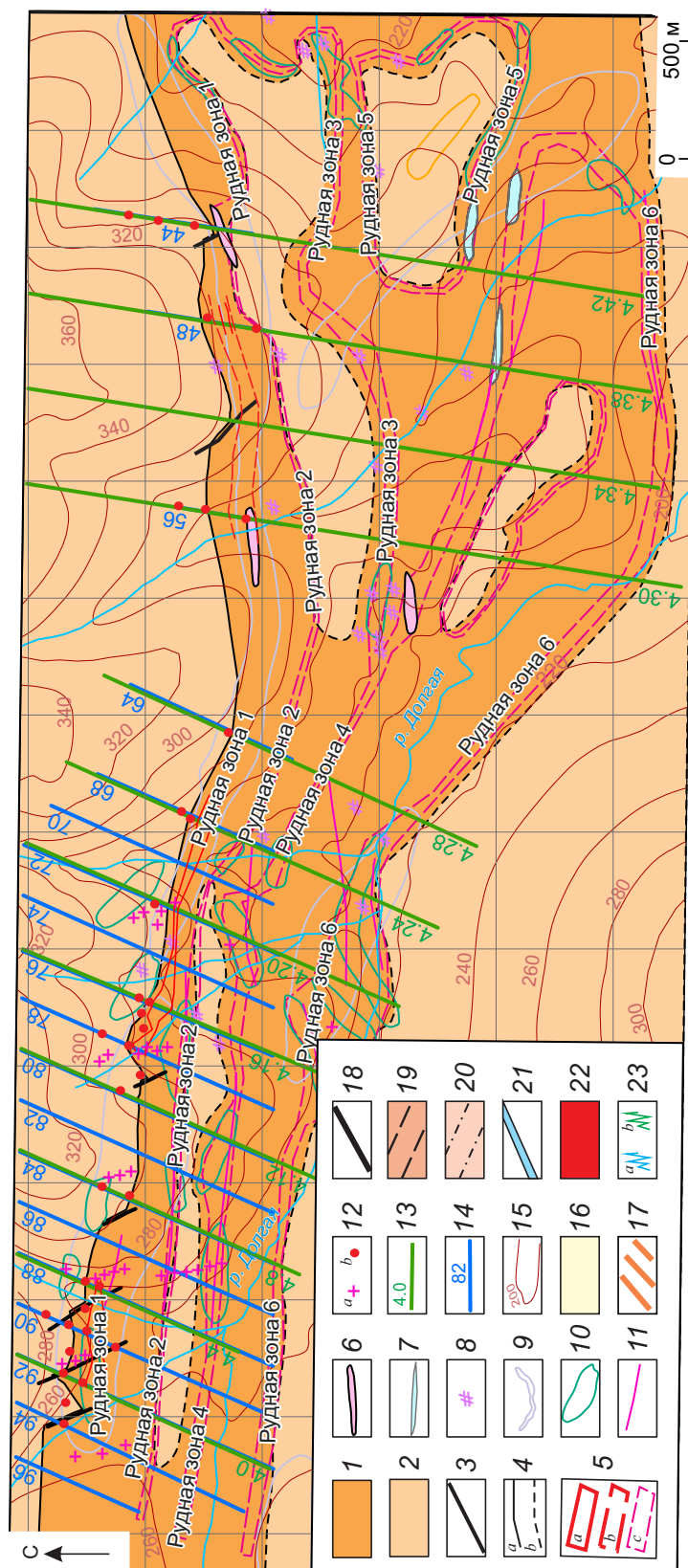
Химические составы сфалеритов двух генераций, по предварительным данным, существенно отличаются друг от друга. Ранняя (фрамбоидальная) генерация характеризуется высоким содержанием железа и существенным избытком серы (табл. 4). Поздняя генерация сфалерита (сфалерит-2) часто имеет хорошую стехиометрию и содержит небольшое количество железа.

Галенит распространён также существенно, но значительно уступает сфалериту. Зато развивается во всех типах пиритовых агрегатов. В наиболее хорошо перекристаллизован-

**Табл. 3. Химический состав пирита**

Table 3. Pyrite chemical composition

| Номера образцов | Содержания элементов, мас. % |       |        | Формула                           | Генерация |
|-----------------|------------------------------|-------|--------|-----------------------------------|-----------|
|                 | S                            | Fe    | Сумма  |                                   |           |
| с-422001–35,0   | 53,64                        | 47,20 | 100,85 | $\text{Fe}_{1,01}\text{S}_{1,99}$ | 1         |
| с-422001–40,0   | 54,21                        | 46,28 | 100,49 | $\text{Fe}_{0,99}\text{S}_{2,01}$ | 1         |
| с-422001–94,0   | 53,68                        | 46,38 | 100,07 | $\text{Fe}_{0,99}\text{S}_{2,01}$ | 1         |
| с-422001–317,5  | 53,71                        | 45,54 | 99,24  | $\text{Fe}_{0,98}\text{S}_{2,02}$ | 1         |
| с-422001–35,0   | 53,52                        | 46,67 | 100,19 | $\text{Fe}_{1,00}\text{S}_{2,00}$ | 2         |
| с-422001–40,0   | 54,25                        | 46,25 | 100,51 | $\text{Fe}_{0,99}\text{S}_{2,01}$ | 2         |
| с-422001–94,0   | 53,03                        | 46,90 | 99,93  | $\text{Fe}_{1,01}\text{S}_{1,99}$ | 2         |
| с-422001–317,5  | 53,26                        | 46,76 | 100,02 | $\text{Fe}_{1,01}\text{S}_{1,99}$ | 2         |



**Рис. 8. Геолого-поисковый план участка Лимонитовый и геологические разрезы Рудной зоны 1:**

области развития: 1 – сланцев кварц-серцитовых, хлорит-серцит-кварцевых, высокоуглеродистых ( $RF_3pt_2$ , пачка 2) (низкоомные образования), 2 – сланцев кварц-серцитовых, градационно-слоистых («полосатиков»), темно-серых, слабоуглеродистых ( $RF_3pt_2$ , пачка 3) (высокоомные образования); 3 – разломы; 4 – границы между пачками: а – установленные, б – предполагаемые; 5 – рудные зоны: зона 1, установленная по телам колчеданных руд (а), по телам колчеданных руд и телам бурых железняков с повышенным содержанием свинца и цинка (б), с – прогнозируемые 2, 3, 4, 5, 6; данные предшественников: 6 – лимониты в коренном залегании, 7 – рудопроявления свинца и цинка, 8 – развалы бурых железняков; 9 – аномалии естественного поля, соответствующие углисто-глинистым сланцам; 10 – положительные локальные аномалии силы тяжести, отвечающие предположительно проявляющимся колчеданным рудам, имеющим высокие плотностные характеристики; 11 – оси аномалий вызванной поляризации, предположительно, обусловленные телами полиметаллических руд; 12 – скважины предшественников ООО «Тянь-Шань Лтд», пробуренные ООО «Сибирская компания разведки недр» (б); 13 – профили геоэлектрических разрезов, выполненные ООО «Тянь-Шань Лтд» (4.0, 4.4), ООО НПП «Прогнозгеофизика» (4.8–4.42); 14 – буровые профили и их номера; 15 – изолинии рельефа, м; 16 – делювиальные отложения; 17 – коры выветривания (щебнисто-глинистые образования, глины монтмориллонит-каолинитовые, бурые железняки) позднемел-палеогеновые; 18 – тектонический контакт пачек 1, 2, 3; 19 – потоскуйская свита, пачка 2; 20 – потоскуйская свита, пачка 3; 21 – кварцевые жилы; 22 – колчеданно-полиметаллические руды (пирит, сфалерит, галенит, гринокит) тонкослоистые, массивные, вкрапленно-прожилковые, брекчиевидные; 23 – график содержания свинца (а), цинка (б), ppm (РФА)

**Fig. 8. Geological and prospecting plan of the Limonite area and geological sections of Ore zone 1:**

areas of development: 1 – quartz-sericite, chlorite-sericite-quartz, high-carbon shales ( $R_3pt_2$ , pack 2) (low-Ohm units), 2 – quartz-sericite, gradationally stratified, dark gray low-carbon shales ( $R_3pt_2$ , pack 3) (high-Ohm units); 3 – faults; 4 – boundaries between packs: a – defined, b – inferred; 5 – ore zones: 1-st one, identified by: a – pyrite orebodies and limonite bodies rich in Pb and Zn, c – forecasted ore zones 2, 3, 4, 5, 6; previous data: 6 – primary limonite, 7 – Pb and Zn occurrences, 8 – limonite blocks; 9 – natural field anomalies corresponding to coaly clay shales; 10 – positive local gravity anomalies presumably corresponding to high-density massive sulfide ore occurrences; 11 – axes of induced polarization anomalies thought to be caused by polymetallic orebodies; 12 – previous holes (a), drilled by LLC Siberian Mineral Prospecting Company (b); 13 – geoelectric section profiles by LLC Tien-Shan Ltd. (profiles 4.0, 4.4), LLC SPE Prognosegeophysics (profiles 4.8–4.42), 14 – drill profiles and their numbers; 15 – topography isolines, m; 16 – deluvial deposits; 17 – Upper Cretaceous–Paleogene crusts of weathering (rubble and clay, montmorillonite-kaolinite clays, limonite); 18 – tectonic contact of packs 1, 2, 3; 19 – Potoskuy suite, pack 2; 20 – Potoskuy suite, pack 3; 21 – quartz veins; 22 – pyrite-polymetallic finely banded, massive, disseminated-veinlet, brecciated ores (pyrite, sphalerite, galena, greenockite); 23 – charts of lead (a), zinc (b) content, ppm (PPA)

ных прожилках пирита-2 галенит ассоциирует и срастается со сфалеритом и образует ксеноморфные зёрна размером до  $0,07 \times 0,11$  мм (см. рис. 6, b). Среди агрегатов мелких и более крупных фрамбоидов пирита-1 галенит вы-

полняет роль цемента, обрастая пиритосферы и одиночные кубы метакристаллов пирита-2. Кроме этого, галенит образует тонкие (от 2 мкм – 0,5 мм) прожилки и их апофизы, секущие агрегаты пиритов всех типов и генераций

**Табл. 4. Химический состав сфалерита**

Table 4. Sphalerite chemical composition

| Номера образцов | Содержания элементов, мас. % |      |       |        | Формула                                                    | Генерация |
|-----------------|------------------------------|------|-------|--------|------------------------------------------------------------|-----------|
|                 | S                            | Fe   | Zn    | Сумма  |                                                            |           |
| с-422001–317,5  | 35,46                        | 7,82 | 58,21 | 101,48 | $(\text{Zn}_{0,83}\text{Fe}_{0,13})_{0,96}\text{S}_{1,04}$ | 1         |
| с-422001–317,5  | 36,79                        | 8,98 | 56,14 | 101,91 | $(\text{Zn}_{0,79}\text{Fe}_{0,15})_{0,94}\text{S}_{1,06}$ | 1         |
| с-422001–317,5  | 37,31                        | 5,98 | 58,13 | 101,43 | $(\text{Zn}_{0,82}\text{Fe}_{0,10})_{0,92}\text{S}_{1,08}$ | 1         |
| с-422001–317,5  | 37,06                        | 9,20 | 53,56 | 99,82  | $(\text{Zn}_{0,77}\text{Fe}_{0,15})_{0,92}\text{S}_{1,08}$ | 1         |
| с-422001–35     | 33,81                        | 2,11 | 64,91 | 100,82 | $(\text{Zn}_{0,95}\text{Fe}_{0,04})_{0,99}\text{S}_{1,01}$ | 2         |
| с-422001–94     | 33,14                        | 2,62 | 65,46 | 101,23 | $(\text{Zn}_{0,96}\text{Fe}_{0,05})_{1,01}\text{S}_{0,99}$ | 2         |
| с-422001–94     | 33,19                        | 3,15 | 63,44 | 99,78  | $(\text{Zn}_{0,95}\text{Fe}_{0,05})_{1,00}\text{S}_{1,00}$ | 2         |
| с-422001–317,5  | 32,91                        | 1,41 | 65,46 | 99,78  | $(\text{Zn}_{0,98}\text{Fe}_{0,02})_{1,00}\text{S}_{1,00}$ | 2         |

**Табл. 5. Химический состав галенита**

Table 5. Galena chemical composition

| Номера образцов | Содержания элементов, мас. % |       |        | Формула                           |
|-----------------|------------------------------|-------|--------|-----------------------------------|
|                 | S                            | Pb    | Сумма  |                                   |
| с-422001–35,0   | 12,66                        | 89,11 | 101,77 | $\text{Pb}_{1,04}\text{S}_{0,96}$ |
| с-422001–94,0   | 12,39                        | 85,88 | 98,26  | $\text{Pb}_{1,04}\text{S}_{0,96}$ |
| с-422001–94,0   | 12,67                        | 86,80 | 99,47  | $\text{Pb}_{1,03}\text{S}_{0,97}$ |
| с-422001–317,5  | 12,53                        | 86,64 | 99,17  | $\text{Pb}_{1,03}\text{S}_{0,97}$ |
| с-422001–317,5  | 12,14                        | 87,55 | 99,70  | $\text{Pb}_{1,05}\text{S}_{0,95}$ |

**Табл. 6. Химический состав гринокита**

Table 6. Greenockite chemical composition

| Номера образцов | Содержания элементов, мас. % |      |      |       |        | Формула                                                                    |
|-----------------|------------------------------|------|------|-------|--------|----------------------------------------------------------------------------|
|                 | S                            | Fe   | Zn   | Cd    | Сумма  |                                                                            |
| с-422001–35,0   | 22,44                        | 0,74 | 3,14 | 75,35 | 101,68 | $(\text{Cd}_{0,94}\text{Zn}_{0,07}\text{Fe}_{0,02})_{1,02}\text{S}_{0,98}$ |
| с-422001–35,0   | 22,21                        | 1,14 | 2,99 | 75,37 | 101,70 | $(\text{Cd}_{0,94}\text{Zn}_{0,06}\text{Fe}_{0,03})_{1,03}\text{S}_{0,97}$ |
| с-422001–94,0   | 22,58                        | 0,0  | 5,67 | 70,91 | 99,16  | $(\text{Cd}_{0,89}\text{Zn}_{0,12})_{1,01}\text{S}_{0,99}$                 |
| с-422001–94,0   | 22,69                        | 0,0  | 6,82 | 70,48 | 99,98  | $(\text{Cd}_{0,88}\text{Zn}_{0,14})_{1,02}\text{S}_{0,98}$                 |
| с-422001–94,0   | 21,87                        | 0,0  | 1,89 | 74,80 | 98,57  | $(\text{Cd}_{0,97}\text{Zn}_{0,03})_{1,01}\text{S}_{0,99}$                 |

(см. рис. 7, а). Указанные прожилки галенита содержат включения пиритовых зёрен, а также включения сфалерита и гринокита.

Химический состав проанализированных зёрен галенита практически всегда характеризуется дефицитом серы и превышением содержания свинца по отношению к стехиометрическому составу (табл. 5).

Гринокит присутствует в ограниченном количестве. Кроме галенитовых прожилок, где минерал встречается в виде групп мелких зёрен, он образует одиночные зёрна или короткие самостоятельные прожилки в цементе фрамбоидальных пиритосфер раннего пирита (см. рис. 7). Химический состав гринокита представлен в табл. 6.

В составе прожилок и агрегатов позднего пирита отмечаются также мелкие и достаточно редкие включения пирротина, имеющие обычно линзовидную форму.

Кроме основных рудных минералов, в составе сульфидной массы фиксируются кварц-карбонатные прожилки и гнёзда, агрегаты барита, мусковита, единичные зёрна рутила, а также монацит, флоренсит и др.

Итак, анализ новых геолого-геофизических данных позволил дать прогноз на выявление шести рудоносных зон колчеданно-полиметаллических руд, первая из которых обнаружена и изучена 37 скважинами поискового бурения (из них 14 скважин – рудные), осталь-

ные пять предстоит исследовать бурением (рис. 8). Рудоносные зоны в пределах участка Лимонитовый имеют прогнозируемую мощность до 100–120 м, протяжённость по простиранию от сотен метров до 3 км.

Рудная зона 1 колчеданно-полиметаллических свинцово-цинковых руд, локализованная в северном крыле антиклинали среди чёрных высокоуглеродистых сланцев, изучена на поисковых линиях РЛ-94, 92, 90, 88, 84, 80, 78, 76, 72, 68, 64, 56, 48, 44. Поисковыми профилями она вскрыта и прослежена по простиранию на 2400 м, по падению на 250–380 м (до глубины 300 м). Мощность рудной залежи 20–65 м, простирание субширотное, падение последовательно вначале крутое (70–85°) на север (РЛ-92, 78), далее на восток залежь выкручивается и на профиле РЛ-68 её падение изменяется от вертикального до крутого южного (см. рис. 8).

В целом колчеданные свинцово-цинковые руды участка Лимонитовый имеют отчётливо выраженные черты стратиформного гидротермально-осадочного образования.

Участок Лимонитовый весьма перспективен на обнаружение крупного месторождения, о чём свидетельствуют данные геолого-геофизических и буровых работ предшествующих и современных исследований. Прогноз на выявление месторождения отражен на геолого-поисковом плане участка Лимонитовый.

## Список литературы

1. Бровков Г. Н., Ли Л. В., Шерман М. Л., Корнев Т. Я. Геология и металлогения Енисейского рудного пояса. – Красноярск, 1985. – 292 с.
2. Боголепов К. В. Мезозойские и третичные отложения восточной окраины Западно-Сибирской низменности и Енисейского кряжа. – М.: Гостехиздат, 1961. – 152 с.
3. Саванович Л. Г., Сергеева Ж. И. Геологическая карта СССР масштаба 1 : 200 000. Серия Енисейская. Лист О-46-XVI. Объяснительная записка. – М.: Недра, 1970. – 58 с.
4. Прожогин Л. Г. Геологическая карта СССР масштаба 1 : 200 000. Лист О-46-XV / Мингео СССР. – 1974. – 76 с.

## References

1. Brovko G. N., Li L. V., Sherman M. L., Kornev T. Ya. Geologiya i metallogeniya Eniseiskogo rudnogo poyasa [Geology and metallogeny of the Yenisei ore belt], Krasnoyarsk, 1985, 292 p.
2. Bogolepov K. V. Mezozoiskie i tretichnye otlozheniya vostochnoi okrainy Zapadno-Sibirskoi nizmennosti i Eniseiskogo kryazha [Mesozoic and tertiary deposits of the eastern margin of the West Si-



berian Lowland and the Yenisei Ridge], Moscow, Gostekhizdat Publ., 1961, 152 p.

3. Savanovich L. G., Sergeeva Zh. I. Geologicheskaya karta SSSR masshtaba 1 : 200 000. Seriya Eniseiskaya. List O-46-XVI. Ob'yasnitel'naya zapiska [Geological map of the USSR scale 1: 200 000. The

Yenisei series. Sheet O-46-XV. Explanatory note], Moscow, Nedra Publ., 1970, 58 p.

4. Prozhogin L. G. Geologicheskaya karta SSSR masshtaba 1 : 200 000. List O-46-XV [Geological map of the USSR scale 1 : 200 000. Sheet O-46-XV], 1974, 76 p.

## Авторы

### Сердюк Сергей Станиславович

доктор геолого-минералогических наук  
главный геолог<sup>2</sup>, профессор<sup>1</sup>  
geosss1@mail.ru

### Макаров Владимир Александрович

доктор геолого-минералогических наук, профессор  
директор<sup>1</sup>  
VMakarov@sfu-kras.ru

### Кириленко Валентина Антоновна

ведущий геофизик<sup>2</sup>  
geosss2@mail.ru

### Макаров Илья Владимирович

генеральный директор<sup>3</sup>  
sla.miv@mail.ru

### Муромцев Егор Алексеевич

аспирант<sup>1</sup>  
EgorMuromtsevSib@gmail.com

### Шведов Геннадий Иванович

доцент<sup>1</sup>  
g.shvedov@mail.ru

## Authors

### Sergey S. Serdyuk

DrSc  
Chef Geologist<sup>1</sup>, Professor<sup>2</sup>  
geosss1@mail.ru

### Vladimir A. Makarov

DrSc, Professor  
Director<sup>1</sup>  
VMakarov@sfu-kras.ru

### Valentina A. Kirilenko

Leading Geophysicist<sup>2</sup>  
geosss2@mail.ru

### Ilya V. Makarov

General Director<sup>3</sup>  
sla.miv@mail.ru

### Egor A. Muromtsev

PhD student<sup>1</sup>  
EgorMuromtsevSib@gmail.com

### Gennady I. Shvedov

Associated Professor<sup>1</sup>  
g.shvedov@mail.ru

<sup>1</sup> Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

<sup>2</sup> ООО «Сибирская компания разведки недр», г. Красноярск

<sup>3</sup> ООО «Сибгранитстрой», Красноярский край, с. Рыбное

<sup>1</sup> Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

<sup>2</sup> LLC Siberian Mineral Exploration Company, Krasnoyarsk, Russia

<sup>3</sup> LLC Sibgranitstroy, Rybnoye, Krasnoyarsk region, Russia