

УДК 553.411

<https://doi.org/10.31242/2618-9712-2024-29-3-345-361>

Оригинальная статья

О рудной минерализации золотоносного Мурунского узла (Алданский щит)

Л. А. Кондратьева[✉], Г. С. Анисимова, В. Н. Кардашевская

Институт геологии алмаза и драгоценных металлов СО РАН. г Якутск, Российская Федерация

[✉]lkon12@yandex.ru

Аннотация

Проведены минералого-геохимические исследования малоизученных золоторудных объектов Мурунского узла (рудные поля Серединское и Андреевское) с применением минераграфического и микрозондового анализа. Выявлены минералы висмута – виттихенит и айкинит, кадмия – гринокит, кобальта – кобальтин и карролит, мышьяка – арсеносульванит и теннантит, сурьмы – антимонит и тетраэдрит, теллура – гессит и Те-канфильдит, ртути – киноварь, таллия – рагинит и высокомедистый талкусит, олова – кестерит и джинбандиит. Кроме того, обнаружен калиевый сульфид – джерфишерит, характеризующийся присутствием нетипичной примеси Ag. Результаты исследований показывают удивительный, далеко не исчерпанный потенциал Мурунского массива, особенно в отношении рудной минерализации. Ключевой особенностью минералов Мурунского узла являются нестехиометричность состава, присутствие примесей, изоморфное замещение элементов вследствие неравновесности условий их образования. Находки рагинита и джинбандиита являются первыми в России.

Ключевые слова: рагинит, джинбандиит, Ag-содержащий джерфишерит, Те-канфильдит, арсеносульванит, изоморфизм, рудные поля Серединское, Андреевское, участок Жерловый, Мурунский рудный узел

Финансирование. Исследование выполнено за счет средств государственного задания ИГАБМ СО РАН (№ FUG-2024-0006).

Благодарности. Авторы выражают благодарность всем геологам ОАО «Якутскгеология», проводившим поисковые работы на рудное золото в пределах Мурунского рудного узла в 2021–2023 годах и лично Е.П.Соколову за предоставленные для исследования образцы.

Для цитирования: Кондратьева Л.А., Анисимова Г.С., Кардашевская В.Н. О рудной минерализации золотоносного Мурунского узла (Алданский щит). *Природные ресурсы Арктики и Субарктики*. 2024;29(3):345–361. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2024-29-3-345-361>

Original article

The ore mineralization of the gold-bearing Murunsky node located within the Aldan Shield

Larisa A. Kondratieva[✉], Galina S. Anisimova, Veronika N. Kardashevskaya

Diamond and Precious Metal Geology Institute,
Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russian Federation

[✉]lkon@yandex.ru

Abstract

Mineralogical and geochemical investigations of the underexplored gold ore deposits within the Murunsky node, specifically the Seredinskoye and Andreevskoye ore fields, were conducted utilizing mineralogical and microprobe analytical techniques. The study identified several minerals, including bismuth minerals such as wittichenite and aikinite; cadmium mineral greenockite; cobalt minerals cobaltite and carrollite; arsenic minerals arsenosulvanite and tennantite; antimony minerals antimonite and tetrahedrite; tellurium minerals hessite and Te-canfieldite; mercury mineral cinnabar; thallium minerals raguinite and copper-rich talcusite; and tin minerals kesterite and jeanbandyite. Additionally, potassium sulfide djerfisherite with an unusual silver admixture was discovered. The findings underscore

the remarkable and largely untapped potential of the Murunsky massif, particularly concerning its ore mineralization. A notable characteristic of the identified minerals is their non-stoichiometric composition, which includes the presence of impurities and isomorphic substitution of elements, attributed to the disequilibrium conditions under which they formed. The discoveries of raguinite and jeanbandyite represent the first occurrences of these minerals in Russia.

Keywords: raguinite, jeanbandyite, Ag-containing djerfisherite, Te-canfieldite, arsenosulvanite, isomorphism, Murunsky ore node

Funding. This study was conducted within the framework of the state assignment for the DPMGI SB RAS (No. FUGG-2024-0006).

Acknowledgements. The authors express their sincere gratitude to all the geologists at JSC Yakutskgeologiya who conducted prospecting for gold ore within the Murunsky ore node from 2021 to 2023. Additionally, special recognition is given to E.P. Sokolov for providing the samples used in this research.

For citation: Kondratieva L.A., Anisimova G.S., Kardashevskaya V.N. The ore mineralization of the gold-bearing Murunsky node located within the Aldan Shield. *Arctic and Subarctic Natural Resources*. 2024;29(3):345–361. (In Russ.); <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2024-29-3-345-361>

Введение

Мурун – уникальный природный объект, где обнаружено около 200 минеральных видов, в том числе новые, впервые установленные здесь минералы, такие как широко известный чароит, а также даванит, мурунскит, тинаксит, токкоит, франкаменит, олекминскит, одинцовит, таусонит, нунканбахит, владыкинит и фторкарлетонит.

Мурунский массив (130 км²), крупнейший в мире представитель вулканоплутонического комплекса агпаитовых К-щелочных пород. Здесь выявлены разнообразные месторождения и рудопроявления полезных ископаемых: чароита, барий-стронциевых карбонатитов, высококонцентрированных анатазовых руд, калий-алюминиевого (сынныриты) и керамического (микроклиниты) сырья, рихтерит-асбеста, апатита, радиоактивного сырья, золота, серебра, меди, цинка, свинца, молибдена и др.

Золотое оруденение впервые было установлено в кварцевых жилах Роговой В.П. в 1963 г. В дальнейшем поисковыми работами геологов ПГО «Якутскгеология» и ФГУГП «Урангео» было выявлено несколько золотоносных рудопроявлений, из которых в настоящее время Серединское, Жерловое, Андреевское и Александровское являются наиболее перспективными [1].

Повышенные концентрации золота были установлены в минерализованных брекчиях зон дробления, кварцевых, кварц-сульфидных и кварц-гематитовых жилах, скарнах, в сульфидизированных эффузивно-пирокластических образованиях и других разновидностях тектонически и гидротермально-метасоматически измененных пород. Коренные рудопроявления золота имеют мезозойский возраст и связаны со щелочными интрузиями.

Ранее рудная минерализация изучалась преимущественно в чароитах и чароитовых породах.

Главными рудными минералами являются пирит, галенит и халькопирит, в подчиненном количестве встречаются сфалерит, борнит, халькозин, идаит, дигенит, ковеллин, в единичных образцах обнаружены пентландит, пирротин, макинавит, магнетит, молибденит, сульванит, канфилдит, паркерит; сульфиды калия и таллия – джерфшерит, мурунскит, Т1-мурунскит и калийсодержащий талкусит; металлы и соединения металлов – самородное железо, медь, золото, серебро, а также минералы платины и палладия – сперрилит (PtAs₂), фрудит (PdBi₂), соболевскит (PdBi) и садбериит (PdSb) [2–6]. Отмечается, что рудные минералы образуют спорадическую вкрапленность, метакристаллы, зернистые и пластинчатые агрегаты среди чароита, канасита, калиевого полевого шпата и темноцветных породообразующих минералов.

Целью данного исследования является минералого-геохимическое изучение рудной минералогии Серединского (включая участок Жерловый) и Андреевского золоторудных полей, расположенных к северу от чароитовых проявлений в пределах центральной и восточной частей Маломурунского массива. Подобных исследований на данных объектах ранее не проводилось, за исключением участка Жерловый, где сотрудниками ВСЕГЕИ изучались рудные разновидности гидротермальных брекчий [7]. Кроме пирита, пирротина, халькопирита, борнита, ковеллина, галенита и сфалерита в них обнаружены арсенопирит, молибденит, марказит, а также (по данным рентгенофазового анализа) вюртцит (Zn,Fe)S, цинкит (ZnO), штрмейерит (CuAg)S, андорит (AgPbSb₃S₆), фрайпонтит (Zn,Al,Cu)(SiAl)₂O₅(OH)₄, доунейт (SeO₂), англезит, ярозит и недиагностированные Sb-минералы.

Материалы и методы

Объектами минералого-геохимических исследований были образцы из керна скважин и канав, предоставленные геологами АО «Якутскгеология», проводившими в 2021–2023 годах поисковые работы на рудное золото в пределах Мурунского рудного узла.

Для изучения минералогии руд были изготовлены аншлифы и проведено минераграфическое изучение в отраженном свете на поляризационном микроскопе Аxioskop 40 фирмы Zeiss. Были определены сульфиды, самородные металлы, жильные и акцессорные минералы, изучены и сфотографированы их взаимоотношения.

С целью определения химического состава минералов (рудных, жильных и породообразующих), а также диагностики неизвестных минералов был использован микрозондовый анализ. Препараты были проанализированы в ИГАБМ СО РАН на сканирующем электронном микроскопе JEOL JSM-6480LV с энергетическим спектрометром фирмы OXFORD (аналитики Н.В. Христофорова, С.А. Карпова). Количественный анализ проводился по методу XPP с использованием Software INCA Energy. Условия съемки: ускоряющее напряжение 20 кВ, ток зонда 1,08 нА, диаметр зонда 1 мм, время измерения 10 с. Аналитические линии: Bi, Au–Ma; Te, Pb, Ag, Sb, S–La; Cu, Fe, Zn, S–Kα. Стандарты: золото 750 ‰ – Au, Ag; HgTe (колорадоит) – Hg, Te; CuSbS₂ (халькостибит) – Cu, Sb, S; Bi₂S₃ – Bi; Tl – Tl (Br, I); ZnS (сфалерит) – Zn; CuFeS₂ (халькопирит) – Fe; PbS (галенит) – Pb; FeAsS (арсенопирит) – As; BaSO₄ (барит) – Ba; ZrSiO₄ (циркон) – Zr; Na[AlSi₃O₈] (альбит) – Al, Na, Si. С учетом данных минераграфического описания аншлифов анализировались сульфиды, сульфосоли, самородные металлы, карбонаты, силикатные минералы, сульфаты и окислы. Были диагностированы минералы, встречающиеся спорадически в микронных размерах. Отсканированы интересные участки аншлифов при разных увеличениях, определены составы минералов.

Краткая геологическая характеристика объектов Мурунского рудного узла

Мурунский рудный узел расположен в западной части Алданского щита в междуречье Чара–Токко, на участке сочленения Чарской глыбы Олекминской гранит-зеленокаменной области и Березовского прогиба. Структура Мурунского узла имеет сложное многоуровневое строение:

архейский кристаллический фундамент, рифейские терригенно-карбонатные платформенные отложения и мезозойский Мурунский щелочной массив (130 км²), в составе которого выделяются Маломурунский, Большемурунский и Догалдынский массивы (рис. 1).

Основную рудоконтролирующую роль в размещении золоторудной минерализации имеют магматические центры вулканоплутонических структур (Маломурунский, Догалдынский), в плане формирующие кольцевые структуры и разрывные нарушения Кеме-Кебектинской и Атбастах-Торгойской систем [1].

Нарушения Атбастах-Торгойской системы имеют северо-восточное простирание (30–40°), фиксируются фрагментарно и, вероятно, являются наиболее ранними. Кеме-Кебектинская зона разломов имеет северо-западное простирание, в ее составе выделяются три крупные ветви сдвиго-взбросовой кинематики, разделяющие площадь на блоки, в свою очередь, разбитые нарушениями более мелких порядков. Первая ветвь проходит через ручьи Кедровый–Лев.Торго, контролируя и ограничивая урановую минерализацию Торгойского месторождения урана и золотое оруденение уч. Андреевский-Северный. Вторая ветвь проходит по участкам Жерловый–Андреевский. Третья проходит по долине р. Ингаригда в направлении оз. Атбастах, контролируя оруденение на участках Александровский и Атбастахский.

Золоторудная минерализация проявлена в различных геолого-структурных обстановках:

- в линейных зонах дробления в щелочных сиенитах (рудное поле Серединское);
- в вулканических брекчиях (участок Жерловый);
- в зонах трещиноватости линейного штокверка в нефелиновых сиенитах (рудное поле Андреевское);
- в фенитизированных терригенно-карбонатных отложениях осадочного чехла (рудное поле Александровское, северо-восточный фланг рудного поля Андреевское).

Ключевой особенностью золоторудных проявлений является совмещение с минерализацией урана, меди, свинца, молибдена и формирование комплексных руд.

На **Серединском рудном поле** золотое оруденение установлено в рудных зонах Серединская, Овражная и ряде других. Серединская зона имеет протяженность 3750 м при мощности 1–15 м и крутом залегании. Сложена брекчиями щелоч-

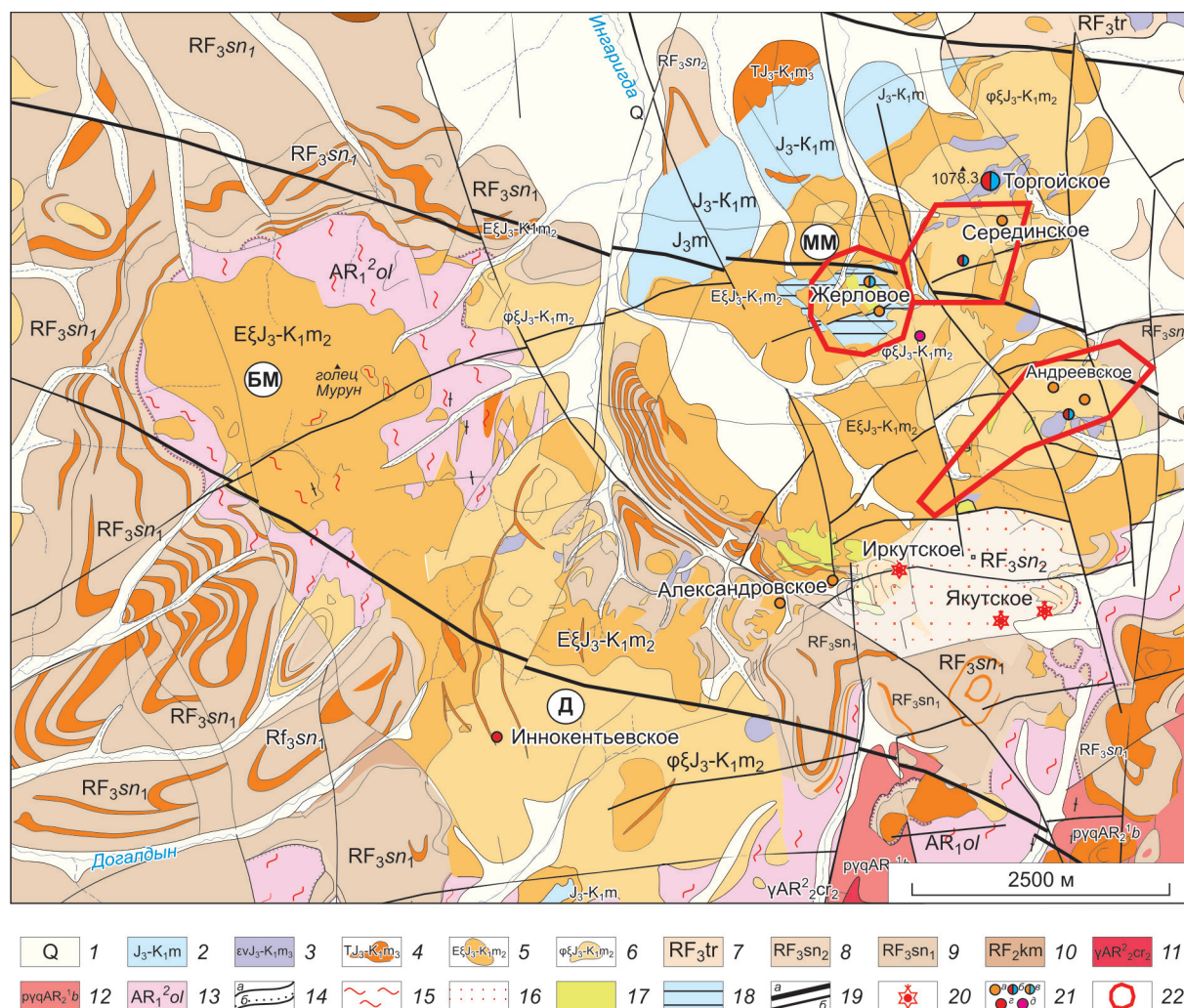


Рис. 1. Схема геологического строения Мурунского рудного узла по [1] с незначительными изменениями: 1 – четвертичные отложения; 2 – покровные образования – лавы, туфолавы и туфобрекчии щелочных трахитов; 3 – шонкиниты, 4 – субвулканические образования – пластовые тела, послойные экзтрузии, нежки щелочных, эпипсевдолоцитовых трахитов; 5 – щелочные и эгириновые сиениты; 6 – нефелиновые, кальсилитовые и фельдшпатитовые сиениты, пегматиты; 7–10 – рифейские терригенно-карбонатные отложения: 7 – торгинская свита, 8 – сенская свита, верхняя подсвита, 9 – сенская свита, нижняя подсвита, 10 – кумахулахская свита; 11 – граниты чародоканского комплекса; 12 – тоналиты, плагиограниты бестяхского комплекса; 13 – плагиогнейсы и кристаллосланцы олекминской серии; 14 – геологические границы: а – согласного залегания, б – несогласного залегания; 15 – мигматиты; 16 – фениты; 17 – эгириниты, карбонатиты; 18 – эруптивные брекчии; 19 – разломы: а – главные, б – второстепенные; 20 – месторождение чаройта; 21 – рудопоявления: а – золоторудные, б – золото-урановые, в – золото-полиметаллические, г – урановые, д – молибденовые; 22 – объекты исследования. Буквы в кружках обозначают массивы: БМ – Большемурунский, ММ – Маломурунский, Д – Догадынский

Fig. 1. The geological structure of the Murunsky ore node, as depicted in [1] with minor modifications, includes: 1 – quaternary deposits; 2 – cover formations – lavas, tufolavas and tufobreccias of alkaline trachytes; 3 – shonkinites, 4 – subvolcanic formations – formation bodies, layered extrusions, necks of alkaline, epipseudoleucite trachytes; 5 – alkaline and aegirine syenites; 6 – nepheline, calcilite and feldspatite syenites, pegmatites; 7–10 – Riphean terrigenous-carbonate deposits: 7 – Torginskaya formation, 8 – Senskaya formation, upper sub-formation, 9 – Senskaya formation, lower sub-formation, 10 – Kumakhulakh formation; 11 – granites of the Charodokan complex; 12 – tonalites, plagiogranites of the Bestyakh complex; 13 – plagiogneisses and crystalloslanes of the Olekminsky series; 14 – geological boundaries: a – consonant occurrence, b – dissonant occurrence; 15 – migmatites; 16 – phenites; 17 – aegirinites, carbonatites; 18 – eruptive breccias; 19 – faults: a – main, b – secondary; 20 – charoite deposit; 21 – ore occurrences: a – gold ore, b – gold-uranium, v – gold-polymetallic, g – uranium, d – molybdenum; 22 – objects of research. The letters within circles represent the respective massifs: БМ – Bolshemurunsky, ММ – Malomurunsky, Д – Dogaldinsky

ных сиенитов с сульфидно-флюорит-кварцевой минерализацией в цементе. Зона Овражная по строению аналогична Серединской. Вдоль охарактеризованных зон проявлена обогащенная золотом линейная кора выветривания. По данным бурения, кора прослеживается до глубины 50 м. Обе зоны включают торий-урановое оруденение.

Участок Жерловый расположен в центральной части Маломурунского массива в пределах Серединского рудного поля. В геологическом строении участка принимают участие эруптивные брекчии жерловой фации, слагающие неск сложной конфигурации и прорывающие нефелиновые сиениты и эгириниты. Оруденение представлено вкрапленным типом в зонах интенсивного дробления. Строение минерализованных зон сложное, подчинено комбинации широтных, меридиональных и северо-западных систем трещиноватости, образующих линзующиеся кулисы, подобные рудным телам на участке Андреевский, с падением к юго-западу и углами от крутых (70–80°) до пологих (20–40°). Минерализованные зоны представлены расланцованными, дробленными березитизированными, аргиллизированными эгирин-нефелиновыми эруптивными, магматическими брекчиями, участками сильно глинизированными, содержащими минерализацию флюорита, пирита, халькопирита, галенита, в отдельных случаях очень насыщенную.

Андреевское рудное поле расположено в эндоконтакте лакколитообразной залежи нефелиновых сиенитов Маломурунского массива. В структурном отношении расположено в висячем блоке крупного нарушения СЗ простирания сдвиго-взбросовой кинематики (Кеме-Кебектинская система) на пересечении с Атбастах-Торгойским разломом. Золоторудная минерализация тяготеет как к апикальной части восточного края Маломурунского массива, так и к зоне экзоконтакта, локализуясь в породах осадочного чехла (участок Андреевский-Северный).

Минерализованные зоны представлены сериями линзующихся кулис расланцованных дробленых нефелиновых сиенитов, тингуаитов, сменяющих друг друга как по простиранию, так и по падению, принадлежащих системам сколовых диагональных трещин левого сдвига широтно-го простирания, в сумме образующих подобие штокверковых зон. Общее простирание зон север-северо-восточное, падение на восток, от 30–50 до 90–120°, последние доминируют. Углы па-

дения меняются от крутых (70–80°) до пологих (20–50°). Породы сильно изменены, березитизированы, аргиллизированы и содержат кварцевые и карбонатные прожилки мощностью от первых сантиметров до 20 см, несущие минерализацию пирита, галенита, халькопирита и флюорита.

Золотое оруденение, развитое в пределах рудного поля Александровское и на северо-восточном фланге рудного поля Андреевское, локализовано в зонах пологих, межслоевых срывов в фенитизированных и сканированных верхнепротерозойских терригенно-карбонатных породах осадочного чехла, песчаниках и доломитах сеньской свиты на контакте с пластовыми телами сиенит-порфиров. Золотое оруденение представлено вкрапленным типом, образующим линзо-лентообразные залежи. Размещение рудных залежей контролируется крутопадающими срывами Атбастах-Торгойской зоны разломов.

Новые данные по минералогии

Минералы кадмия и кобальта

Гринокит CdS выявлен на Андреевском рудном поле в кварц-карбонатной прожилке в полевошпатовом метасоматите с зернами эгирин-авгита, титанита и рутила. Прожилок несет минерализацию халькопирита с прожилковидными агрегатами борнита. Гринокит представлен зерном размером не более 12 мкм, замещает борнит-халькопиритовую матрицу и имеет стехиометрический состав (рис. 2, а, табл. 1).

Минералы кобальта – кобальтин $CoAsS$ и карролит $Cu(Co,Ni)_2S_4$ встречены также в рудах Андреевского поля среди гидротермального доломита (рис. 2, б, табл. 2). Карролит находится в сростании с борнитом. Состав минерала нестехиометричен, содержание кобальта и никеля в нем повышено и, напротив, фиксируется значительный недостаток меди. Зерно карролита окружено тонкой каймой кобальтина.

Таблица 1
Химический состав гринокита

Table 1
Chemical composition of greenockite

Номер анализа	S	Cd	Сумма
C-51-48,6 10-5	21,94	76,87	98,81
C-51-48,6 11-1	21,09	77,07	98,16
C-51-48,6 11-8	20,72	77,55	98,27
C-51-48,6 11-9	21,9	76,8	98,7

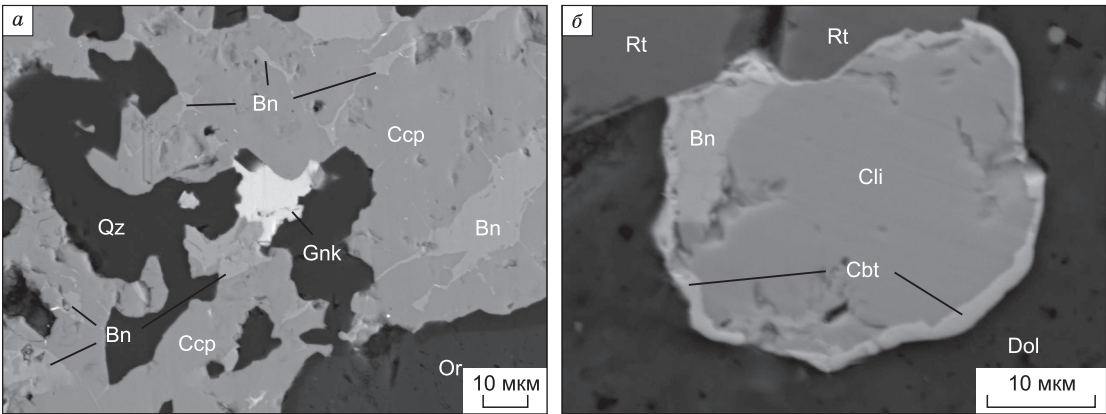


Рис. 2. Минерализация кадмия и кобальта: *а* – гринокит (Gnk) в ассоциации с борнитом (Bn) и халькопиритом (Ccp) среди кварца (Qz) и ортоклаза (Or); *б* – карролит (Cli) в срастании с борнитом (Bn) и каймой кобальтина (Cbt) среди доломита (Dol) с зернами рутила (Rt)

Fig. 2. Mineralization of cadmium and cobalt: *a* – greenockite (Gnk) in association with bornite (Bn) and chalcopyrite (Ccp) among quartz (Qz) and orthoclase (Or), *b* – carrollite (Cli) in fusion with bornite (Bn) and a border of cobaltite (Cbt) among dolomite (Dol) with rutile grains (Rt)

Минералы висмута

Висмутовые минералы выявлены в эруптивной брекчии (участок Жерловый) и представлены виттихенитом и айкинитом.

Виттихенит Cu_3BiS_3 , наблюдался в виде прожилка в срастании с борнитом среди халькопирита, а сульфид свинца, висмута и меди, близкий по составу *айкиниту* $Pb_3Bi_2S_6$, – в срастании с галенитом (рис. 3, табл. 3). Преобладание свинца над висмутом в составе айкинита, по-видимому, обусловлено влиянием галенита.

Минералы мышьяка

Арсеносульванит $Cu_3(As, I)S_4$ наблюдался в рудах Серединского поля в кварцевой и флюорит-доломитовой матрице как в самостоятельных зернах, довольно крупных до 150 мкм, так и в

ассоциации с блеклыми рудами и талкуситом среди пирита и халькопирита (рис. 4, *а–в*).

Группа блеклых руд

Блеклая руда установлена в метасоматитах рудных полей Андреевское и Серединское, развивается в халькопирите и пирите либо по краю арсеносульванита (рис. 4, *а, б, г*, табл. 5). Теннантит и тетраэдрит в чистом виде встречаются редко, в основном блеклая руда характеризуется переменным составом, ее можно отнести к ряду теннантита-тетраэдрита. Сурьмянистый фальерц характеризуется примесями цинка и иногда серебра.

Минералы теллура

Теллуридная минерализация представлена гесситом Ag_2Te и *Те-канфильдитом* $Ag_8Sn(S, Te)_6$. Присутствие гессита и канфильдита в Мурунском

Химический состав минералов кобальта

Chemical composition of cobalt minerals

Номер анализа	S	Co	Ni	Cu	As	Сумма	Минерал
C-51-31,4 6-8	40,53	34,32	13,13	12,67		100,66	Карролит
C-51-31,4 7-1	41,68	35,1	11,26	11,86		99,9	
C-51-31,4 8-4	41,58	35,24	11,64	11,41		99,87	
C-51-31,4 9-4	41,32	36,92	10,61	11,54		100,41	
C-51-31,4 9-6	40,77	34,34	10,72	13,6		99,42	
C-51-31,4 7-4	24	34,63			41,1	99,73	Кобальтин
C-51-31,4 8-1	24,66	35			41,1	100,76	

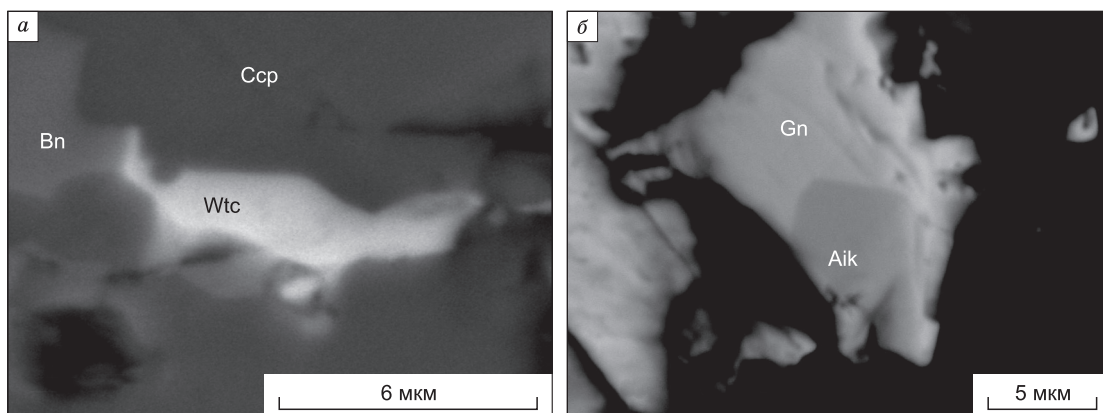


Рис. 3. Минерализация висмута: *a* – виттихенит (Wtc) в борните (Bn)-халькопиритовой (Ccp) матрице, *б* – айкинит (Aik) в галените (Gn)

Fig. 3. Bismuth mineralization: *a* – wittichenite (Wtc) in bornite (Bn)-chalcopyrite (Ccp) matrix, *б* – aikinite (Aik) in galena (Gn)

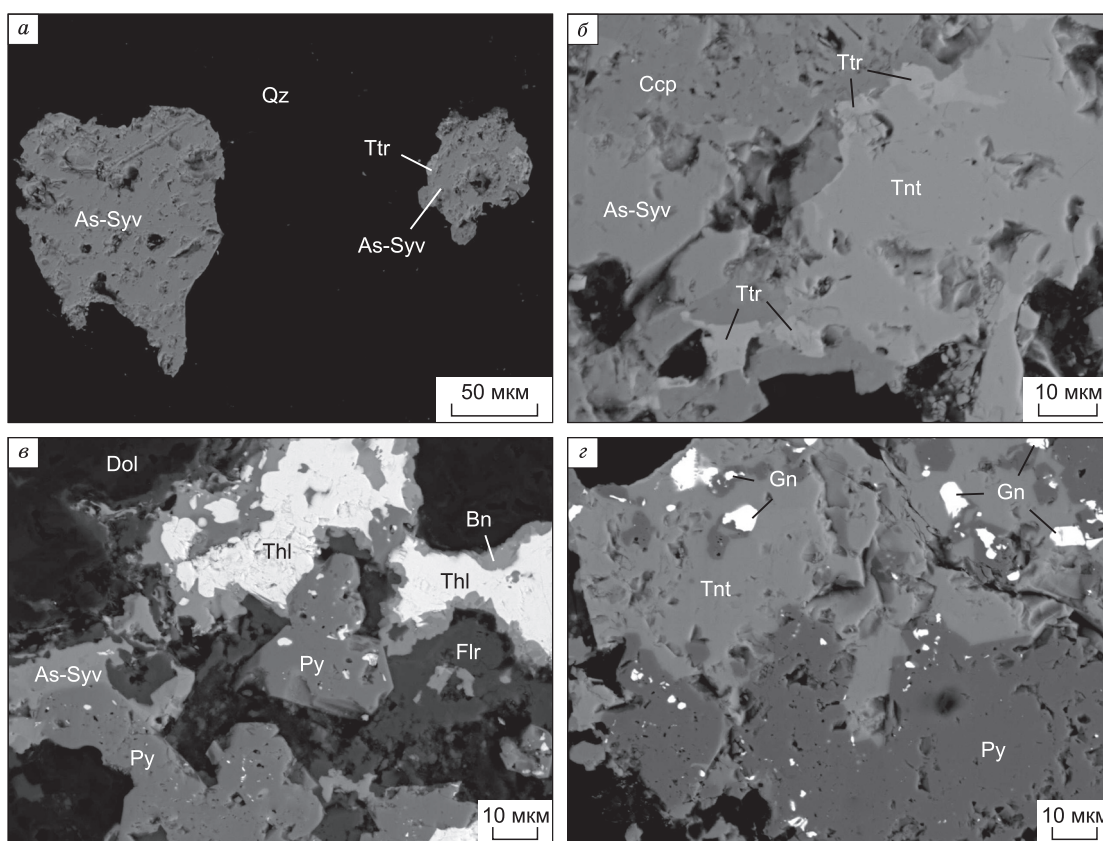


Рис. 4. Минерализация сульфосолей As и Sb: *a* – зерна арсеносульванита (As-Syv); *б* – ассоциация арсеносульванита (As-Syv) и блеклых руд – теннантита (Tnt) и тетраэдрита (Ttr) в халькопирите (Ccp); *в* – ассоциация талкусита (Thl), замещающего борнит (Bn), и арсеносульванита (As-Syv) в пирите (Py); *г* – теннантит среди пирита (Py) с зернами галенита (Gn)

Fig. 4. Mineralization of sulfosalts As and Sb: *a* – grains of arsenosulvanite (As-Syv), *б* – association of arsenosulvanite (As-Syv) and fahlore – tennantite (Tnt) and tetrahedrite (Ttr) in chalcopyrite (Ccp), *в* – association of talcusite (Thl) replacing bornite (Bn) and arsenosulvanite (As-Syv) in pyrite (Py), *г* – tennantite among pyrite (Py) with galena grains (Gn)

Таблица 3

Химический состав минералов висмута

Table 3

Chemical composition of bismuth minerals

Номер анализа	S	Fe	Cu	As	Pb	Bi	Сумма	Минерал
C-114-61,4 2-1	19,58	4,62	36,47			38,87	99,54	Виттихенит
C-114-61,4 3-2	20,21	5,68	35,52			37,88	99,28	
C-114-61,4 3-3	19,39	4,81	36,59			40,03	100,82	
C-114-61,4 16-1	14,73	1,41	9,68		40,24	33,71	99,77	Айкинит
C-114-61,4 16-4	14,98		11,16	0,25	41,53	32,34	100,26	

Таблица 4

Химический состав арсеносульванита

Table 4

Chemical composition of arsenosulvanite

Номер анализа	S	V	Fe	Cu	As	Сумма
C-202-157,2 5-5	32,48	3,35		48,48	13,9	98,21
C-202-157,2 7-1	31,99	2,74	2,31	48,38	12,77	98,2
C-202-157,2 7-2	33,97	3,02		48,36	13,7	99,06
C-202-157,2 7-3	33,05	3,34	1,88	46,32	14,55	99,14
C-202-157,2 14-6	31,63	3,46		50,59	14,98	100,65
C-202-157,2 19-4	32,43	2,8		50,71	14,57	100,51
C-202-157,2 23-1	33,11	3,27		48,29	15,47	100,14
C-51-52,2 22-2	33,76	3,05		47,77	14,36	98,95
C-51-52,2 22-3	32,5	3,1	2,28	49,49	13,97	101,35

Таблица 5

Химический состав блеклой руды

Table 5

Chemical composition of fahlore

Номер анализа	S	Fe	Cu	Zn	As	Ag	Sb	Сумма	Минерал
C-202-157,2 23-4	28,06	7,26	39,18	5,57			19,88	99,94	Тетраздрит
C-202-157,2 19-2	25,74		39,56	7,62	4,58		22,92	100,42	Тетраздрит-теннантит
C-202-157,2 14-1	24,94		38,77	6,07	6,39		22,18	98,35	
C-202-157,2 19-5	24,76		41,68	7,6	6,57		20,44	101,04	
C-22-18,2 5-1	25	1,79	36,75	9,28	9,53	5,17	11,46	98,99	Теннантит
C-202-157,2 4-3	26,91		43,28	6,54	10,03		14,56	101,32	
C-51-52,2 15-3	25,95	4,15	40,8	4,9	11,4		12,38	99,57	
C-51-52,2 33-3	26,9	2,9	39,34	6,23	15,23		10,8	101,39	
C-21-52,3 5-2	27,8	5,42	41,21	6,04	15,81		3,02	99,3	
C-21-52,3 5-1	27,67	5,72	39,73	5,88	16,33		3,59	98,92	
C-51-52,2 17-2	28,99	3,52	43,37	3,67	17,51		3,63	100,69	
C-51-52,2 18-1	27,9	6,32	44,71		19,33			98,26	
C-51-52,2 18-5	27,09	5,53	46,69		19,42			98,74	
C-51-52,2 18-3	27,15	6,51	45,24		20,81			99,7	

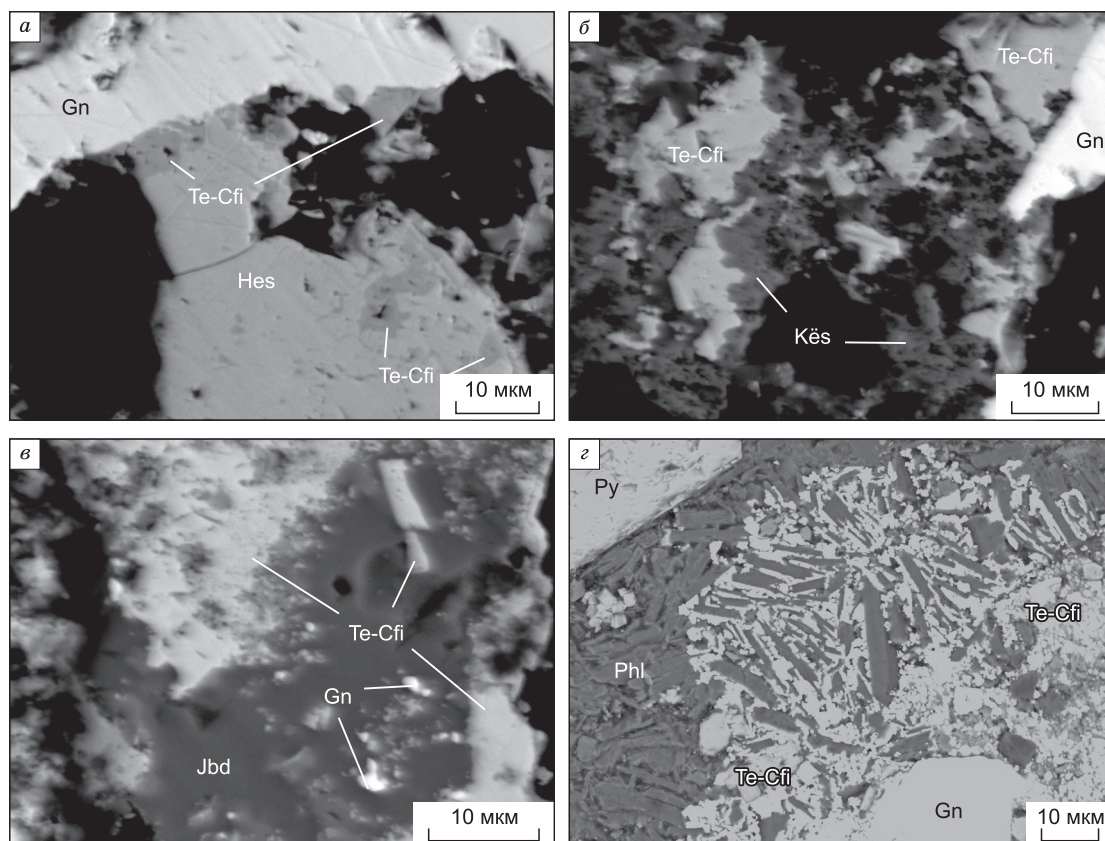


Рис. 5. Минерализация Те-канфильдита (Te-Cfi): а – Те-канфильдит в гессите (Hes) и на границе с галенитом (Gn); б – Те-канфильдит в кестерите (Kës), справа зерно галенита (Gn); в – Те-канфильдит (Te-Cfi) и галенит (Gn) в джинбандиите (Jbd); г – Те-канфильдит (Te-Cfi) цементирует зерна флогопита (Phl)

Fig. 5. Mineralization of Te-canfieldite (Te-Cfi): а – Te-canfieldite in hessite (Hes) and on the border with galena (Gn), б – Te-canfieldite in kesterite (Kes), on the right a grain of galena (Gn), в – Te-canfieldite (Te-Cfi) and galena (Gn) in jeanbandyite (Jbd), г – Te-canfieldite (Te-Cfi) cements grains of phlogopite (Phl)

массиве установлено В.П. Роговой [8]. В результате последних исследований интенсивная минерализация канфильдита со значительным содержанием теллура установлена в эгирин-биотит-полевошпатовой породе (участок Жерловый) (рис. 5, табл. 6). Те-канфильдит образует ксеноморфные зерна, реже идиоморфные призматические кристаллы, размером от первых мкм до 60 мкм. Сульфотеллурид встречается в сростании с гесситом и галенитом, а также в самостоятельных зернах в жильном матриксе. Часто находится он среди минералов олова – кестерита и джинбандиита; наблюдались также зерна Те-канфильдита, цементирующие флогопит. Отмечается как массивная, так и пористая структура минерала.

Минералы таллия

Таллиевая минерализация представлена талкуситом и рагинитом.

Талкусит $TlCu_3FeS_4$ довольно широко распространен в рудах Мурунского узла и ранее был описан в чароититах [2, 4]. Особенностью описанного М.Г. Добровольской с соавторами минерала является присутствие в составе калия (2,23–2,3 мас.%). Нами минерал обнаружен в рудных метасоматитах Андреевского и Серединского полей, реже в брекчиях участка Жерловый. Развивается в ассоциации с халькопиритом, имеет характерную пластинчатую форму кристаллов (см. рис. 4, в, 6, а). В составе минерала калий не установлен, соотношение элементов колеблется (табл. 7).

Рагинит $TlFeS_2$ встречен в рудах Мурунского узла впервые, наблюдался в единичных самостоятельных зернах и в сростании с пиритом на участке Андреевский (рис. 6, б).

Сурьмяная минерализация представлена вышеописанной блеклой рудой и антимонитом. Анти-

Таблица 6

Химический состав минералов теллура

Table 6

Chemical composition of tellurium minerals

Номер анализа	S	As	Ag	Sn	Te	Сумма	Минерал
C-1316-49,3 3-4			64,8		36,41	101,21	Гессит
C-1316-49,3 3-11			62,52		36,5	99,02	
C-1316-49,3 6-2			63,53		37,13	100,66	
C-1316-49,3a 1-1			65,78		34,75	100,53	
C-1316-49,3a 1-3			65,8		33,71	99,51	
C-1316-49,3 5-9	10,01	2,8	63,51	7,19	17,14	100,65	Те-канфилдит
C-1316-49,3 5-10	8,6		64,23	7,43	18,97	99,23	
C-1316-49,3 26-2	8,78		63,95	7,51	19,48	99,72	
C-1316-49,3 27-1	9,34		63,94	5,52	19,38	98,19	
C-1316-49,3 28-2	9,67		63,48	8	20,11	101,26	
C-1316-49,3a 2-2	8,87		65,71	7,55	19,27	101,39	
C-1316-49,3a 2-3	9,29		66,39	8,7	16,34	100,72	
C-1316-49,3a 4-1	8,5		65,2	8,17	16,46	98,33	
C-1316-49,3a 7-2	9,29		64,94	7,67	18,19	100,09	
C-1316-49,3a 9-4	10,94		66,7	6,94	16,31	100,9	
C-1316-49,3a 11-2	8,88		69,29	5,49	17,17	100,84	
C-1316-49,3a 15-1	9,2		66,9	6,09	16,89	99,08	
C-1316-49,3a 17-6	9,26		66,4	7,36	18,42	101,44	
C-1316-49,3a 19-2	9,29		68,1	7,87	15,9	101,17	
C-1316-49,3a 21-1	10,04		68,12	4,64	16,18	98,98	

монит встречается спорадически в виде самостоятельных зерен вне связи с рудными минералами.

Ртутная минерализация характеризуется единичными зернами киновари, наблюдавшихся в силикатах, ассоциаций с другими рудными минералами также не выявлено.

Сульфиды щелочных элементов

Редкий минерал, *джерфшиерит*, ранее был описан в рудах Мурунского узла М.Г. Добровольской с соавторами [2]. Выявленный нами на участке Жерловый минерал отличается высоким содержанием меди до 27,55 мас.% (табл. 8, ан.1–4).

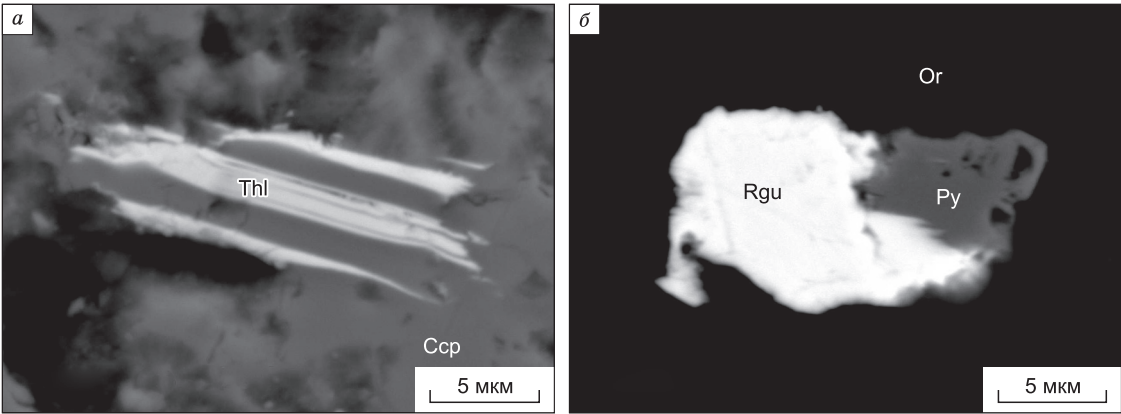


Рис. 6. Таллиевая минерализация: а – пластинчатые агрегаты талкусита (Thl) в халькопирите (Ccp); б – зерно рагинита (Rgu) в сростании с пиритом (Py) в ортоклазе (Or)

Fig. 6. Thallium mineralization: а – plate aggregates of talcusite (Thl) in chalcopyrite (Ccp), б – grain of raguinite (Rgu) in fusion with pyrite (Py) in orthoclase (Or)

Таблица 7

Химический состав таллиевых минералов

Table 7

Chemical composition of thallium minerals

Номер анализа	S	Fe	Cu	Tl	Сумма	Минерал
Андреевское рудное поле						
C-43-77,8 5-2 A	19,93	17,33		63,14	100,4	Рагинит
C-43-77,8 3-1	19,37	16,2		65,51	101,07	
C-43-77,8 4-8	21,19	16,63		62,24	100,06	
C-22-18,2 7-1 A	22,22	15,49	32,5	29,8	100,01	Талкусит
C-51-52,2 2-2 A	17,71	8,8	30,58	41,36	98,45	
C-43-77,8 8-2	17,16	7,74	23,52	49,69	98,11	
K-1316В-16-17 8-1	17,62	9,11	23,34	49,86	99,93	
C-43-77,8 7-3	16,83	7,08	24,12	51,08	99,11	
C-51-31,4 5-4	16,37	7,96	24,68	51,42	100,43	
C-51-31,4 4-1	16,16	7,91	24,16	51,64	99,86	
C-43-77,8 8-7	17,18	7,28	22,29	52,77	99,52	
K-1316В-16-17 5-3	16,73	7,34	22,21	53,23	99,5	
K-1316В-16-17 5-5	16,22	6,46	21,64	54,37	98,69	
K-1316В-16-17 4-6	16,14	5,7	22,13	55,71	99,68	
C-22-18,2 9-5	14,73	6,3	22,89	55,88	99,8	
C-43-77,8 7-2	14,58	7,53	22,01	55,98	100,1	
K-1316В-16-17 5-4	14,8	7,13	22,38	56,68	100,98	
K-1316В-16-17 5-6	15,16	6,67	22,46	56,96	101,25	
C-22-18,2 9-3	14,06	7,71	21,27	58,13	101,17	
Серединское рудное поле						
C-201-118 4-5	16,92	8,25	25,42	48,62	99,21	Талкусит
C-201-118 6-2	15,73	8,28	24,14	50,06	98,21	
C-201-118 7-2	17,01	8,45	24,45	51,16	101,07	
C-201-118 6-1	16,25	7,45	25,15	51,6	100,45	
C-201-118 3-6	16,18	8,35	24,76	52,02	101,31	
C-201-118 4-4	15,71	7,27	24,78	52,17	99,93	
C-201-118 19-1	15,68	8,19	23,12	52,31	99,3	
C-201-118 5-4	16	7,32	24,78	52,68	100,78	
C-201-118 3-2	14,7	7,52	24,09	53,87	100,18	
C-201-118 14-9	14,31	8	23,7	54,64	100,65	
C-201-118 4-6	14,48	6,59	24,07	55,72	100,85	
Участок Жерловый						
дС-131-115,7 18-1	20,66	13,4	20,23	46,5	100,79	Талкусит

Кроме того, установлен джерфишерит, обогащенный серебром до 4,8 мас.% (см. табл. 8, ан. 5, 6). Неполные суммы анализов, возможно, обусловлены присутствием H₂O. Высокомедистый джерфишерит развит среди стронцианита, целестина, Sr-бербанкита, флюорита и галенита. Ag-содержащий джерфишерит наблюдался в виде идиоморфных зерен кремового цвета размером 20–40 мкм среди халькопирита (рис. 7).

Минералы олова

Олово является видообразующим элементом в кестерите $Cu_2(Zn,Fe)SnS_4$ и джинбандиите $(Fe,Mn)Sn(OH)_6$, а также входит в состав канфильдита (табл. 9). Ассоциация минералов олова выявлена (см. рис. 5) на участке Жерловый в эгирин-биотит-полевошпатовой породе. Кестерит встречается в аллотриоморфных выделениях, а джинбандиит как в неправильных, так и в идио-

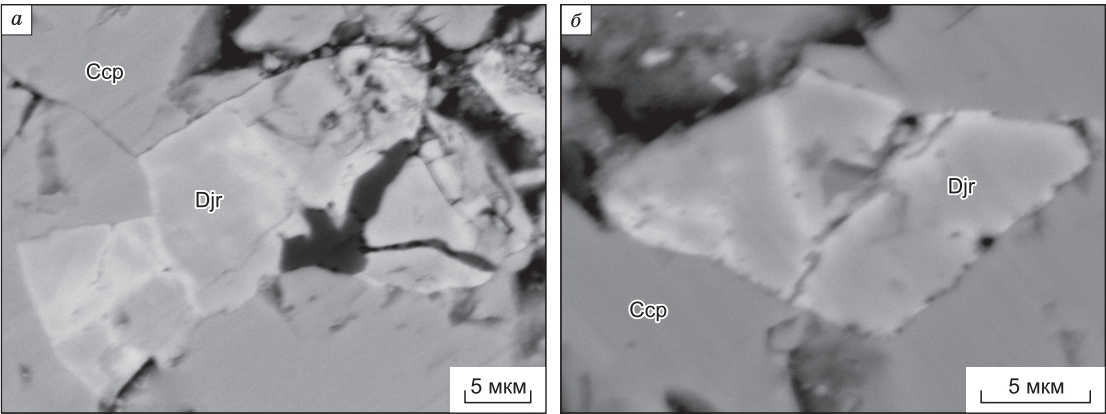


Рис. 7. Идиоморфные зерна Ag-содержащего джерфишерита (Djr) среди халькопирита (Ccp)
Fig. 7. Idiomorphic grains of Ag-containing djerfisherite (Djr) among chalcopyrite (Ccp)

морфных кристаллах. Анализы кестерита характеризуются недостатком суммы по причине неровной поверхности минерала, но содержания главных элементов и их соотношения позволяют отнести минерал к кестериту.

Самородное золото

Самородное золото, по данным предшественников, представлено тонкими и тонкодисперсными разностями, менее 0,01 мм, среднее содержание золота в рудах не более 1–2 г/т. Имеются неопубликованные данные об ассоциации самородного золота с халькопиритом в кварц-флюоритовой матрице на участке Ингаригда, зона Александровская. В ходе настоящих исследований самородное золото было обнаружено в двух образцах, зерна имеют размер 3–10 мкм (рис. 8). Полученные анализы не кондиционные, отметим, что самородное золото участка Жерловый характеризуется значительной примесью меди (27–28 мас.%) и серебра (4–6 мас.%) и выявлено в гетите, а самородное золото участка Андреевский среди полевого шпата и слюд.

Обсуждение

Проведенные минералого-геохимические исследования руд Серединского и Андреевского полей Мурунского золотоносного узла показывают широкий диапазон рудогенных элементов – Cu, Pb, As, Bi, Sn, Cd, Co, Ni, Ag, Sb, Te и Tl. Многие из установленных минералов относятся к числу редких и необычных минералов.

Редкие сульфиды, содержащие K-Cu-Fe, мурунскит ($K_2Cu_3FeS_4$), талкусит ($(K,Tl)_2Cu_3FeS_4$) и джерфишерит ($K_6(Fe,Cu,Ni)_{25}S_{26}Cl$) в Мурунском массиве впервые были описаны М.Г. Добровольской [2–4]. Джерфишерит, являясь наиболее распространенным из них, в настоящее время известен во многих крупных щелочных комплексах, а также обнаружен в перидотитах Инаглинского массива, в медно-никелевых месторождениях Норильского региона и в кимберлитах Южной Африки и Якутии.

Джерфишерит представляет собой сульфид необычного химического состава с относительно постоянным содержанием калия (до 10 %) и

Химический состав высокомедистого и Ag-содержащего джерфишерита
Таблица 8

Table 8

Chemical composition of copper-rich and Ag-containing djerfisherite									
№ п/п	Номер анализа	S	Cl	K	Mn	Fe	Cu	Ag	Сумма
1	K-503/21 10-2	32,23	1,4	8,7		31,04	26,35		99,72
2	K-503/21 11-1	31,76	1,18	8,97	0,72	29,52	27,55		99,7
3	K-503/21 11-3	31,77	1,11	8,99	0,95	29,23	26,93		98,99
4	K-503/21 12-5	32,61	1,2	9,12		33,69	24,46		101,07
5	2002A 2-5	32,55	1,59	7,33		33,04	18,77	4,41	97,7
6	2002A 4-3	32,91	1,43	6,3		31,77	19,4	4,8	96,62

Таблица 9

Химический состав минералов олова

Table 9

Chemical composition of tin minerals

Номер анализа	O	S	Cu	Zn	Mn	Fe	Sn	Сумма	Минерал
C-131Б-49,3 2-3	38,71				7,24	12,4	41,89	100,24	Джинбандиит
C-131Б-49,3 3-1	39,68				7,64	10,44	41,5	99,25	
C-131Б-49,3 3-3	37,88				5,9	13,26	41,59	98,62	
C-131Б-49,3 6-2	38,73				6,69	11,58	41,97	98,98	
C-131Б-49,3 6-4	37,3				6,37	12,34	45,35	101,37	
C-131Б-49,3 10-4	36,39				9,25	9,9	42,77	98,31	
C-131Б-49,3 11-3	40,33				5,75	10,64	42,67	99,39	
C-131Б-49,3 13-7	39,93				4,2	13,98	41,86	99,97	
C-131Б-49,3 13-10	36,65				4,98	13,61	42,9	98,14	Кестерит
C-131Б-49,3 9-3		26,62	31,26	11,8			23,41	93,1	

различным количеством железа (35,49–51,90 %), меди (0,05–15,32 %) и никеля (0–19,81 %) [9]. Исследователи изоморфизма джерфишерита отмечают изоморфное замещение Fe на Cu и Ni и ограниченное замещение Cu на Ni, K на Na, K на Li [9–13]. Присутствие Cl в джерфишерите указывает на изоморфизм между серой и хлором. Анализ накопленных данных о химическом составе джерфишерита из различных сред и метеоритов позволил выявить три разновидности этого сульфида: первая обогащена Fe (до 50 мас.%) в метеоритах, пегматитах Хибинского массива и Cu–Ni месторождениях Норильского региона; вторая обогащена Cu (до 23 мас.%) в щелочных породах; третья обогащена Ni (до 20 мас.%) в кимберлитах [10].

Выявленный нами минерал по химическому составу представлен двумя разновидностями: высокомедистый, отличающийся исключительно высоким содержанием меди до 27,55 мас.%, и Ag-содержащий, обогащенный серебром до 4,8 мас.%, при этом в нем фиксируется падение концентрации меди на 5–8 мас.% и калия на 2–3 мас.%. Иных минералов, содержащих серебро, в образце не выявлено. Здесь, по-видимому, имеет место изоморфизм, выраженный в замещении катионов Cu на Ag.

Исследование фазовых соотношений в системе (K,Na)–(Fe,Ni)–Cu–S–H₂O показало, что сульфиды группы щелочных металлов кристаллизовались в неравновесных условиях. Образование сульфидов K–Na в массивах ультращелочных по-

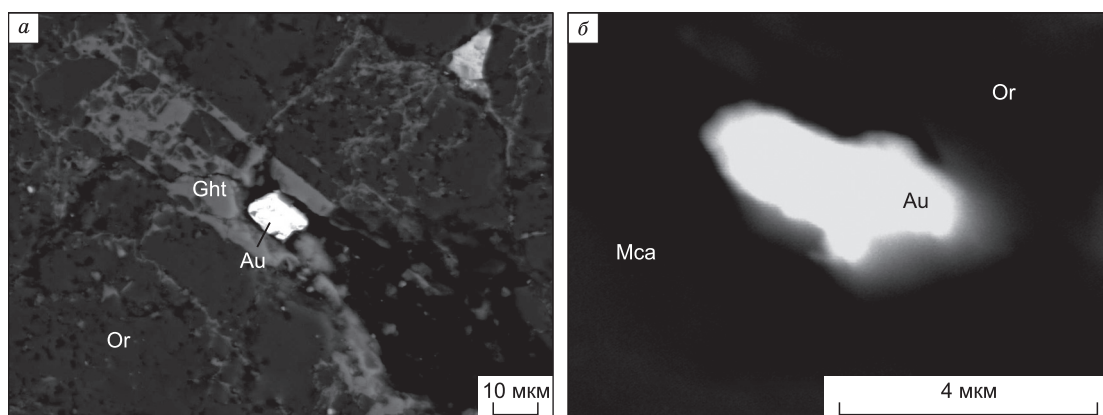


Рис. 8. Микронное самородное золото: а – в гетитовой (Ght) прожилке среди ортоклаза (Or), участок Жерловый; б – среди ортоклаза (Or) и слюда (Mca), участок Андреевский

Fig. 8. Micron native gold: а – in the goethite (Ght) vein among the orthoclase (Or), the Zherlovij site, б – among the orthoclase (Or) and mica (Mca), the Andreevsky site

род связано с постмагматическими процессами калиевого метасоматоза [12].

Сульванит Cu_3VS_4 и канфилдит Ag_8SnS_6 в Мурунском массиве в качестве аксессуарных минералов в щелочных породах были отмечены В.П. Роговой [8]. As-содержащий сульванит, арсеносульванит впервые был установлен Бетехтиным в 1941 г. в образцах из Монголии [14]. Несмотря на то что минерал обнаружен на многочисленных месторождениях Болгарии, Боливии, Венгрии, Италии, Канады, Сербии, США, а также России и имеет собственный устойчивый химический состав, он был дискредитирован в 2006 г. [15]. Исследования арсеносульванита Франк-Каменецкой с соавторами [16] и Ненашевой, Карпенко [17], в том числе Лебединского месторождения, на основании химического состава и рентгенографического изучения минерала доказывают самостоятельность арсеносульванита как минерального вида и неправомерность его дискредитации.

Установленный в мурунских рудах Те-канфилдит развит в ассоциации как с гесситом, так и с минералами олова, кестеритом и джинбандиитом. На Алданском щите Те-канфилдит известен в рудах Федоровской жильной зоны Лунного Au-U месторождения. Сульфотеллурид образует ангедральные вкрапления в жильном матриксе в ассоциации с пиритом, марказитом, гесситом и неназванными сульфосолями Ag-Tl [18].

На основе данных химического анализа и рентгенографии порошка Харрис и Оуэнс [19] предположили, что Те заменяет S в структуре канфилдита, что дает идеальную формулу $\text{Ag}_8\text{Sn}(\text{S},\text{Te})_6$. Исследователи недавно открытого сульфотеллурида серебра – ченгуодаита ($\text{Ag}_9\text{FeTe}_2\text{S}_4$) на золоторудном кварцево-жильном месторождении Бунан в гранитогнейсах (Китай), при сравнении его с другими сульфотеллуридами серебра, отмечают особое сходство с канфилдитом и Те-канфилдитом благодаря замещению $\text{Fe}^{3+} + \text{Ag}^+ \rightarrow \text{Sn}^{4+}$ и $2\text{Te}^{2-} \rightarrow 2\text{S}^{2-}$ [20]. Ченгуодаит сосуществует с галенитом, халькопиритом, гесситом, электрумом и неназванными фазами Ag_6TeS_2 , $\text{Ag}_{16}\text{FeBiTe}_3\text{S}_8$.

Талкусит является характерным минералом полиметаллических месторождений и высокощелочных массивов. Впервые был выявлен на Cu-Ni месторождении Талнах на Таймыре [21]. Ранее установленный в чароитовых породах талкусит, как уже отмечалось, имеет в своем составе калий. Химический состав минерала золоторуд-

ных мурунских проявлений характеризуется отсутствием калия и обогащенностью таллием до 58 мас.%. Это согласуется с исследованиями изоморфного замещения К на Тl в щелочных сульфидных, показавшими, что талкусит из щелочных отложений содержит примесь калия, тогда как в образцах из сульфидных месторождений этот элемент не обнаруживается [22, 23]. Кроме того, в изученном талкусите наблюдается падение содержания серы до 14 мас.%.

Рагинит крайне редкий минерал, о его существовании сообщалось всего в нескольких местах, а именно на богатых таллием месторождениях – Альшар (Северная Македония) – первая находка [24], Ленгенбах (Швейцария) и Ланмучанг Tl-Hg (Южный Китай). Находка рагинита в рудах Мурунского массива является первой в России.

Минералы таллия Мурунского узла представлены Cu-Fe фазами. Известная на Алданском щите таллиевая минерализация Хохойского месторождения [25, 26] имеет Sb-(As)-Te специализацию (вейсбергит, TlSbS_2 ; янковицит $\text{Tl}_5\text{Sb}_9(\text{As},\text{Sb})_4\text{S}_{22}$; парапьерротит $\text{Tl}(\text{Sb},\text{As})_5\text{S}_8$; авиценнит, Tl_2O_3 часто с примесями Те и Sb; амгаит, Tl_2TeO_6 с примесью Sb).

Джинбандиит также представляет собой крайне редкий минерал, установленный в брекчиевых рудах всемирно известного Cu-Pb-Zn-Ag-Ge-Cd месторождения Цумеб (Намибия), на месторождениях Льяллагуа (Боливия) – первая находка [27], а также Мексики, Канады и Великобритании. Сведений о присутствии джинбандиита на месторождениях России не найдено, возможно, это первая находка.

В целом исключительно богатая минералогия Мурунского массива явилась результатом сложной и разнообразной природы его формирования в процессе длительного многофазового щелочного магматизма и сопряженной с ним гидротермально-метасоматической деятельности.

Заключение

В результате минералого-геохимических исследований значительно расширен список рудных минералов Серединского и Андреевского золоторудных полей Мурунского узла. Это сульфиды и сульфосоли висмута, мышьяка, сурьмы, серебра, теллура и таллия. Принципиально новым является обнаружение минералов кадмия, кобальта, а также олова как видообразующего элемента. Находки рагинита и джинбандиита в

рудах Мурунского массива являются первыми в России и представляют интерес с минералогической точки зрения, а также могут иметь важное промышленное значение, поскольку характеризуются высоким содержанием Tl (63 мас.%) и Sn (43 мас.%) соответственно.

Полученные результаты показывают богатый потенциал Мурунского узла в отношении рудной минерализации. На основании распространенности в комплексных ($Au-U-Mo-Cu-Pb$) мурунских рудах таллиевых минералов рассматриваем таллий как еще один заслуживающий внимания компонент.

Ключевой особенностью минералов Мурунского узла являются нестехиометричность состава, присутствие примесей, изоморфное замещение элементов вследствие неравновесности условий их образования.

Список литературы / References

1. Соколов Е.П., Макогонов И.В., Бабкина Т.Г., Бондаренко Н.В. Построение прогнозно-поисковой модели золотого оруденения Мурунского рудного узла. *Геологический вестник Якутии*. 2023;19(1):45–60.
2. Sokolov E.P., Makogonov I.V., Babkina T.G., Bondarenko N.V. Construction of a predictive prospecting model of the gold mineralization of the Murunsky ore node. *Geologicheskii Vestnik Yakutii*. 2023;19(1):45–60. (In Russ.)
3. Добровольская М.Г., Рогова В.П., Цепин А.И., Малов В.С. О сульфидной минерализации в чароитовых породах (Мурунский массив). *Минералогический журнал*. 1980;2(6):3–13.
4. Dobrovolskaya M.G., Rogova V.P., Tsepin A.I., Malov V.S. On sulfide mineralization in charoite rocks (Murun massif). *Mineralogical Journal*. 1980;2(6):3–13. (In Russ.)
5. Добровольская М.Г., Цепин А.И., Евстигнеева Т.Л. и др. Мурунскит $K_2Cu_3FeS_4$ – новый сульфид калия, меди и железа. *Записки Всесоюзного минералогического общества*. 1981;(4):468–473.
6. Dobrovolskaya M.G., Tsepin A.I., Evstigneeva T.L., et al. Murunskite, $K_2Cu_3FeS_4$ a new sulfide of potassium, copper, and iron. *Zapiski Vsesoyuznogo Mineralogicheskogo Obshchestva*. 1981;(4):468–473. (In Russ.)
7. Добровольская М.Г., Малов В.С., Рогова В.П., Вяльсов Л.Н. Новая находка калийсодержащего талкусита в чароитовых породах Мурунского массива. *Доклады АН СССР*. 1982;267(5):1214–1217.
8. Dobrovolskaya M.G., Maslov V.S., Rogova V.P., Vyalsov L.N. New discovery of potassium-containing talcusite in charoite rocks of the Murun massif. *Doklady Akademii Nauk SSSR*. 1982;267(5):1214–1217. (In Russ.)
9. Добровольская М.Г., Малов В.С., Владыкин Н.В. Минералы платины и палладия в чароитовых породах. *Доклады АН СССР*. 1985;284(2):438–442.
10. Dobrovolskaya M.G., Maslov V.S., Vladyskin N.V. Platinum and palladium minerals in charoite rocks. *Doklady Akademii Nauk SSSR*. 1985;284(2):438–442. (In Russ.)
11. Лазебник К.А. Самородная медь в чароитовых породах. В кн.: *Самородное минералообразование в магматическом процессе*. Якутск; 1981. С. 83–84.
12. Lazebnik K.A. Native copper in charoite rocks. In: *Native mineral formation in the magmatic process*. Yakutsk; 1981, pp. 83–84. (In Russ.)
13. Макарьев Л.Б., Миронов Ю.Б., Кухаренко Е.А., Шарпенко Л.Н. Брекчиевые образования в мезозойских ультракалийевых щелочных породах Мурунского магматического узла (Северное Забайкалье). *Региональная геология*. 2016;(66):45–52.
14. Makariev L.B., Mironov Yu.B., Kukharenko E.A., Sharpenok L.N. Breccias formation in Mesozoic ultrapotassic alkaline rocks of the Murunsky magmatic cluster (Northern Transbaikalia). *Regional geology*. 2016;(66):45–52. (In Russ.)
15. Конев А.А., Воробьев Е.И., Лазебник К.А. Минералогия Мурунского щелочного массива. Новосибирск: Изд-во СО РАН, НИЦ ОИГТМ; 1996. 221 с.
16. Konev A.A., Vorobyov E.I., Lazebnik K.A. Mineralogy of the Murunsky alkaline massif. Novosibirsk: Publishing House of the SB RAS, SIC OIGGM; 1996. 221 p. (In Russ.)
17. Дмитриева М.Т., Илюхин В.В., Бокки Г.В. Close packing and cation arrangement in the djerfisherite structure. *Soviet Physics Crystallography*. 1979;24(6):683–685.
18. Добровольская М.Г., Некрасов И.Я. Фазовые отношения в системах, содержащих щелочные металлы. *Доклады АН СССР*. 1992;322(2):373–377.
19. Dobrovolskaya M.G., Nekrasov I.Ya. Phase relations in systems containing alkali metals. *Doklady Akademii Nauk SSSR*. 1992;322(2):373–377. (In Russ.)
20. Добровольская М.Г. Сульфиды щелочных металлов в природе. История изучения, география, ассоциации, изоморфизм, условия образования. М.; 2018. 159 с.
21. Dobrovolskaya M.G. *Sulfides of alkali metals in nature. History of study, geography, associations, isomorphism, educational conditions*. Moscow; 2018. 159 p. (In Russ.)
22. Добровольская М.Г. Geochemistry of alkali metals in sulfides. In: HYPERLINK “<https://istina.msu.ru/collections/3341436/>” The Sixth Annual V.M. Goldschmidt Conference: Abstracts, Heidelberg, March/April, 1996. Heidelberg; 1996, p. 133.
23. Zaccarini F., Thalhammer O.A.R., Princivalle F., et al. Djerfisherite in the Guli dunite complex Polar Siberia: a primary or metasomatic phase? *The Canadian Mineralogist*. 2007;45(5):1201–1211. <https://doi.org/10.2113/gscanmin.45.5.1201>
24. Бетехтин А.Г. О новом минерале арсеносульфиданите. *Записки Всесоюзного минералогического общества*. 1941;70(2):161–164.
25. Betekhtin A.G. The new mineral arsenosulvanite. *Zapiski Vsesoyuznogo Mineralogicheskogo Obshchestva*. 1941;70(2):161–164. (In Russ.)

15. Burke E.A.J. A mass discreditation of GQN minerals. *The Canadian Mineralogist*. 2006;(44):1557–1560. <https://doi.org/10.2113/gscanmin.44.6.1557>
16. Франк-Каменецкая О.В., Рождественская И.В., Янулова Л.А. Новое о кристаллической структуре колуситов и арсеносульванитов. *Журнал структурной химии*. 2002;43(1):94–107. <https://doi.org/10.1023/a:1016077917390>
- Frank-Kamenetskaya O.V., Rozhdestvenskaya I.V., Yanulova L.A. New data on the crystal structures of colusites and arsenosulvanites. *Journal of Structural Chemistry*. 2002;43(1):89–100.
17. Ненасьева С.Н., Карпенко В.Ю. Особенности арсеносульванита из месторождения Лебединое (Центральный Алдан). *Новые данные о минералах*. 2010;(45):50–59.
- Nenasheva S.N., Karpenko V.Yu. Features of arsenosulvanite from the Lebedinoe deposit (Central Aldan). *New data on minerals*. 2010;(45):50–59. (In Russ.)
18. Новоселов К.А., Белогуб Е.В., Блинов И.А. Те-канфильдит из руд Лунного Au-U месторождения (Алданский район, Республика Якутия). *Минералогия*. 2019;5(2):49–56. <https://doi.org/10.35597/2313-545X-2019-5-2-49-56>
- Novoselov K.A., Belogub E.V., Blinov I.A. Te-canfieldite from ores of the Lunnoe Au-U deposit (Aldan region, Republic Sakha of Yakutia). *Mineralogy*. 2019;5(2):49–56. (In Russ.)
19. Harris D.C., Owens D.R. A tellurium-bearing canfieldite, from Revelstoke, B.C. *Canadian Mineralogist*. 1971;(10):895–898.
20. Gu X., Watanabe M., Xie X., et al. Chenguodaite (Ag₉FeTe₂S₄): a new tellurosulfide mineral from the gold district of East Shandong Peninsula, China. *Chinese Science Bulletin*. 2008;(53):3567–3573. <https://doi.org/10.1007/s11434-008-0295-4>
21. Коваленкер В.А., Лапутина И.П., Евстигнеева Т.Л., Изоитко В.М. Талкусит, Cu₃-xTl₂Fe₁+xS₄ – новый сульфид таллия из медно-никелевых руд Талнахского месторождения. *Записки Всероссийского минералогического общества*. 1976;105(2):202–206.
- Kovalenker V.A., Laputina I.P., Evstigneeva T.L., Isoitko V.M. Talcusite, Cu₃-xTl₂Fe₁+xS₄ is a new thallium sulfide from copper-nickel ores of the Talnakh deposit. *Zapiski Vserossijskogo Mineralogicheskogo Obshchestva*. 1976;105(2):202–206. (In Russ.)
22. Mookherjee A., Mozgova N.N., Golovanova T.I., Mishra B. Rare Minerals from Rajpura-Dariba, Rajasthan, India. VI. Thallusite, Its Geochemical Significance. *Neues Jahrbuch für Mineralogie Monatshefte*. 1984:444–454.
23. Pekov I.V., Agakhanov A.A. Thallium-Rich Murunskite from the Lovozero Pluton, Kola Peninsula, and Partitioning of Alkali Metals and Thallium between Sulfide Minerals. *Geology of Ore Deposits*. 2008;50(7):583–589. <https://doi.org/10.1134/S107570150807009X>
24. Laurent Y., Picot P., Pierrot R., et al. La raguinite, TlFeS₂, une nouvelle espèce minérale et le problème de l'allcharite. *Bulletin de la Société Française de Minéralogie et de Cristallographie*. 1969;(92):38–48. <https://doi.org/10.3406/bulmi.1969.6310>
25. Anisimova G.S., Kondratieva L.A., Kardashevskaya V.N. Weissbergite (TlSbS₂) and Avicennite (Tl₂O₃), Rare Thallium Minerals: First Findings in Yakutia. *Geology of Ore Deposits*. 2022;64(7):424–431. <https://doi.org/10.1134/S1075701522070030>
26. Kasatkin A.V., Anisimova G.S., Nestola F., et al. Amgaite, Tl₃+2Te₆+O₆, a New Mineral from the Khokhoykoe Gold Deposit, Eastern Siberia, Russia. *Minerals*. 2022;12(9):1064. <https://doi.org/10.3390/min12091064>
27. Kampf A.R. Jeanbandyite a new member of the stottite group from Llallagua, Bolivia. *The Mineralogical Record*. 1982;13(4):235–239.

Об авторах

КОНДРАТЬЕВА Лариса Афанасьевна, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0001-9347-6427>, e-mail: lkon12@yandex.ru;

АНИСИМОВА Галина Семеновна, кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0002-1275-5393>, e-mail: gsanisimova1952@mail.ru;

КАРДАШЕВСКАЯ Вероника Николаевна, кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0003-1069-2533>, e-mail: kardashevskaya92@mail.ru

Вклад авторов

Кондратьева Л.А. – разработка концепции, проведение исследования, создание черновика рукописи, визуализация; **Анисимова Г.С.** – разработка концепции, редактирование рукописи; **Кардашевская В.Н.** – проведение исследования, визуализация

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

About the authors

KONDRATIEVA, Larisa Afanasievna, Cand. Sci. (Geol. and Mineral.), Senior Researcher, <https://orcid.org/0000-0001-9347-6427>, e-mail: lkon12@yandex.ru

L. A. Kondratieva et al. ♦ The ore mineralization of the gold-bearing Murunsky node located within the Aldan Shield

ANISIMOVA, Galina Semenovna, Cand. Sci. (Geol. and Mineral.), Leading Researcher, <https://orcid.org/0000-0002-1275-5393>, e-mail: gsanisimova1952@mail.ru

KARDASHEVSKAIA, Veronika Nikolaevna, Cand. Sci. (Geol. and Mineral.), Researcher, <https://orcid.org/0000-0003-1069-2533>, e-mail: kardashevskaya92@mail.ru

Authors' contribution

Kondratieva L.A. – conceptualization, investigation, writing – original draft, visualization; **Anisimova G.S.** – conceptualization, writing – review & editing; **Kardashevskaya V.N.** – investigation, visualization

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию / Submitted 16.07.2024

Поступила после рецензирования / Revised 09.08.2024

Принята к публикации / Accepted 16.08.2024