

Научная статья
УДК: 549.334; 549.086



ПЕРВЫЕ ДАННЫЕ О ТЕ-МИНЕРАЛИЗАЦИИ В РУДАХ ЗОЛОТО-СУЛЬФИДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (СРЕДНИЙ УРАЛ)

А. В. Чумаков¹, П. Н. Лейбгам², Д. Е. Савельев³, О. В. Аликин¹, В. Н. Рудашевский¹

1 — ООО «ЦНТ Инструментс», г. Санкт-Петербург, Россия, tchumakov.a.v@yandex.ru,
<https://orcid.org/0009-0000-4311-9130>

2 — Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных
и благородных металлов (ФГБУ «ЦНИГРИ»), г. Москва, Россия, leibham@tsnigri.ru,
<https://orcid.org/0009-0002-3426-7734>

3 — Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального
государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского
центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН), г. Уфа, Россия, sav171@mail.ru,
<https://orcid.org/0000-0001-8910-6992>

В статье впервые представлены результаты детального изучения теллурической минерализации в рудах золото-сульфидного месторождения Среднего Урала. Исследование выполнено на представительной композитной пробе с применением комбинированной методики, включающей электроимпульсную дезинтеграцию, гидросепарацию и сканирующую электронную микроскопию с энергодисперсионным микроанализом. В ходе работ идентифицировано семь теллуросодержащих минеральных фаз: мелонит (NiTe_2), коларит (PbTeCl_2), алтаит (PbTe), теллуризмустит (Bi_2Te_3), теллуросодержащий галенит ($\text{Pb}(\text{S}, \text{Te})$), колорадоит (HgTe) и калаверит (AuTe_2). Минеральный баланс показал существенное преобладание мелонита, составляющего 78.45% от суммы теллуридов. Теллуриды имеют микронные размеры (4–100 мкм) и приурочены преимущественно к пириту, границам зерен сульфидов и кварц-карбонатным прожилкам. Геохимический анализ выявил устойчивую ассоциацию Te с Ni , Pb , Zn , тогда как Au и As демонстрируют относительную самостоятельность, свидетельствуя о многостадийном характере минералообразования. Применение комбинированной технологии подготовки проб обеспечило статистически репрезентативную выборку тяжелых минералов без их переизмельчения и загрязнения.

Ключевые слова: теллурическая минерализация, золото-сульфидное месторождение, теллуриды, микроминералогия, электроимпульсная дезинтеграция, гидросепарация.

Благодарности: Авторы выражают благодарность С. Г. Кряжеву (ФГБУ «ЦНИГРИ», г. Москва) за проведение сканирующей электронной микроскопии с энергодисперсионным микроанализом. Авторы также признательны анонимным рецензентам за конструктивные замечания и ценные рекомендации, способствовавшие улучшению качества рукописи.

Для цитирования: Чумаков А. В., Лейбгам П. Н., Савельев Д. Е., Аликин О. В., Рудашевский В. Н. Первые данные о Те-минерализации в рудах золото-сульфидного месторождения (Средний Урал) // Геологический вестник. 2026. № 2. С. 193–204. <https://doi.org/10.31084/2619-0087/2026-2-13>

For citation: Chumakov A. V., Leibham P. N., Saveliev D. E., Alikin O. V., Rudashevsky V. N. (2026) First data on Te mineralisation in ores from a gold-sulphide deposit (Middle Urals). *Geologicheskii vestnik*. 2026. No. 2. P. 193–204. <https://doi.org/10.31084/2619-0087/2026-2-13>

© А. В. Чумаков, П. Н. Лейбгам, Д. Е. Савельев, О. В. Аликин, В. Н. Рудашевский, 2026

Original article

FIRST DATA ON TE MINERALISATION IN ORES FROM A GOLD-SULPHIDE DEPOSIT (MIDDLE URALS)

A. V. Chumakov¹, P. N. Leibham², D. E. Saveliev³, O. V. Alikin¹, V. N. Rudashevsky¹

1 — CNT Instruments LLC, Saint-Petersburg, Russia, tchumakov.a.v@yandex.ru,
<https://orcid.org/0009-0000-4311-9130>

2 — Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals (FSBI «TsNIGRI»), Moscow, Russia, leibham@tsnigri.ru, <https://orcid.org/0009-0002-3426-7734>

3 — Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IG UFRS RAS), Ufa, Russia, savl71@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8910-6992>

This article presents, for the first time, the results of a detailed study of telluride mineralisation in ores from a gold-sulphide deposit in the Middle Urals. The study was carried out on a representative composite sample using a combined methodology involving electric pulse disaggregation, hydroseparation and scanning electron microscopy with energy-dispersive microanalysis. During the work, seven tellurium-bearing mineral phases were identified: melonite (NiTe_2), colarite (PbTeCl_2), altaite (PbTe), tellurobismuthite (Bi_2Te_3), tellurium-bearing galena ($\text{Pb}(\text{S}, \text{Te})$), coloradoite (HgTe) and calaverite (AuTe_2). The mineral balance revealed an anomalous predominance of melonite, accounting for 78.45% of the total tellurides. The telluride inclusions are micrometre in size (4–100 μm) and are predominantly associated with pyrite, sulphide grain boundaries and quartz-carbonate veins, which indicates their formation during the final stages of ore formation. Geochemical analysis revealed a consistent association of Te with Ni, Pb and Zn, whereas Au and As demonstrate relative independence, indicating a multi-stage nature of mineralisation. The application of a combined sample preparation technique ensured a statistically representative sample of heavy minerals without over-grinding or contamination.

Keywords: telluride mineralisation; gold-sulphide deposit; tellurides; micromineralogy; electric pulse disaggregation; hydroseparation

Acknowledgements: The authors would like to thank S. G. Kryazhev (FSBI «TsNIGRI», Moscow) for performing scanning electron microscopy with energy-dispersive microanalysis. The authors are also grateful to the anonymous reviewers for their constructive comments and valuable recommendations, which have helped to improve the quality of the manuscript.

Введение

Теллур в настоящее время рассматривается как важный индикатор специфических физико-химических условий формирования золото-сульфидных руд и выделяется в минеральных парагенезисах преимущественно на поздних этапах гидротермального процесса [Goldfarb et al., 2017]. В золотых месторождениях различных типов он проявляется в виде самородного элемента, многочисленных теллуридов (Au-Ag-Bi-Te , Au-Sb-Te и др.), сульфотеллуридов, часто фиксируемых именно в микрометровом и субмикронном диапазонах, что обуславливает необходимость микроминералогического подхода к его изучению [Страховенко, 1995; Анисимова и др., 2021; Извекова и др., 2021; Николаева, Мазуров, 2024].

Микроминералогия теллура позволяет детально раскрыть текстурно-минералогические отношения теллурсодержащих фаз с самородным зо-

лотом и сульфидами (пирит, арсенопирит, халькопирит и др.), а также оценить их роль в эволюции золотоносных систем. В российских и зарубежных исследованиях показано, что тонкодисперсные и наноразмерные теллурсодержащие фазы приурочены к порам, трещинам, внутризерновым дефектам и границам зерен сульфидов, что подчеркивает сложность их минералогического поведения и генетическую связь с отдельными гидротермальными и гипергенными этапами рудогенеза. Одним из актуальных направлений современной микроминералогии является поиск и идентификация теллуридов золота (калаверит AuTe_2 , сивьянит $(\text{Au}, \text{Ag})_2\text{Te}_4$, петцит Ag_3AuTe_2 и др.), которые в ряде золото-теллуридных и золото-сульфидно-теллуридных ассоциаций становятся важными концентраторами золота и фиксаторами условий рудообразования [Целуйко и др., 2019].

Изучение вещественного состава руд играет ключевую роль в понимании процессов фор-

мирования и концентрации золота. В последние годы особый интерес вызывают теллуриды золота — редкие минералы, которые часто отмечаются при исследованиях [Войтеховский и др., 2010; Спиридонов, 2010; Извекова и др., 2021; Рахимов и др., 2022; Касаткин и др., 2023]. В мировой литературе к настоящему времени накоплен огромный материал по описанию новых минеральных видов, минеральных ассоциаций теллуридов в месторождениях различного генетического типа и металлогенической специализации, но только в последнее десятилетие особенно интенсивно проводились исследования теллуридной минерализации в золоторудных гидротермальных и колчеданных системах с позиций минералогенетической информации (Волошин и др., 2012; Hassan, Roberts, 2017; Jin et al., 2021). Теллуриды очень чувствительны к изменению физико-химических параметров гидротермальной системы кристаллизации и являются ценными минералогенетическими маркерами [Спиридонов, 2001; Cook, Ciobanu, 2002; Ciobanu et al., 2006].

Большой вклад в изучение минералогии теллуридов внесли исследователи колчеданных месторождений Урала. Ими показано, что теллуриды являются наиболее интересными минералами-индикаторами физико-химических условий формирования метаморфизованных колчеданных руд. Теллуриды (а также сульфосоли) могут иметь различное происхождение — гидротермальное, субмаринное гипергенное или диагенетическое и метаморфогенное [Рудно-формационный..., 2001; Молошаг и др., 2002; Масленников, 2006; Масленникова, Масленников, 2007; Молошаг, 2011].

В качестве объекта исследования авторами выбрано месторождение золото-сульфидного типа, расположенное в пределах Среднего Урала в 26 км южнее г. Артемовский (Свердловская область). В структурном плане объект тяготеет к зоне влияния Алапаевско-Челябинского глубинного разлома [Казаков и др., 2017]. Рудоконтролирующим элементом выступает субмеридиональная полоса серицит-хлоритовых сланцев белоярской толщи. Промышленная минерализация приурочена к зоне сочленения интрузивных образований раннего карбона (кварцевые диориты и габбро) с верхнедевонскими вулканогенными породами (андезито-базальтовые порфириды и туфы). В пределах сланцевой толщи фиксируются линзовые обособления серпентинитов, габброидов, а также интенсивно деформированных риолитов. Основную ценность представляют

золотоносные кварцевые линзы и сопряженные с ними ореолы сульфидной минерализации, развивающиеся во вмещающих комплексах [Серавкин, 2009]. Согласно утвержденным материалам, балансовые запасы золота по категориям C_1+C_2 составляют 2.275 т [Казаков и др., 2017].

Работами предшественников [Иванов, Переляев, 1941; Сазонов и др., 2001; Belogub et al., 2013] установлено, что золото встречается совместно с главными минералами рудных тел: кварцем, карбонатами и сульфидами. Согласно визуальным оценкам, золото отмечено в ассоциации с пиритом. Размеры золота варьируют в широком диапазоне: от сотых долей до целых миллиметров. Средняя пробность золота на месторождении 927.1, из элементов-примесей отмечены серебро (6.28–13.89 мас. %) и ртуть (до 2.87 мас. %). Золото также встречается в виде теллурида золота ($AuTe_2$) — калаверита [Чумаков и др., 2025].

Целью настоящей работы является комплексное микроминералогическое и геохимическое исследование теллуровой минерализации в рудах золото-сульфидного месторождения Среднего Урала. В рамках исследования решались задачи идентификации и количественной оценки теллурсодержащих минеральных фаз, определения их химического состава, морфологических и размерных характеристик, а также установления их пространственной приуроченности.

Материалы и методы исследования

Материал для исследования представлен комpositивной технологической пробой (500 кг), приготовленной из керна минерализованных метасоматитов. Для минералогических исследований отобраны характерные образцы керна. Оптические исследования шлифов проводились на микроскопе Olympus BX51 с камерой Leica DC 300 и программным пакетом Autopano Giga. Сканирующая электронная микроскопия (СЭМ) проводилась на сканирующем электронном микроскопе Tescan Mira с EDS-детекторами PulseTor 30 (EDAX Element 30 in compatibility mode) (ФГБУ «ЦНИГРИ», аналитик С.Г. Кряжев) и на сканирующем электронном микроскопе Tescan Vega 4 Compact с энергодисперсионным спектрометром Xplorer 15 (ФГБУН «ИГ УФИЦ РАН», аналитик Д.Е. Савельев).

Для определения форм нахождения теллура и сопутствующих ему минералов, их размерных характеристик из технологической пробы ото-

брана представительная навеска 20 кг. Прообоотбор проводился квартованием методом усеченного конуса после предварительного крупнотонусового дробления части исходной пробы на щековой дробилке РЕХ-250х750 до Р100–60 мм и усреднения. Для сохранения естественной крупности минеральных индивидов и исключения вторичного загрязнения пробоподготовка выполнялась с применением технологии электроимпульсной дезинтеграции (ЭИД) на аппаратном комплексе EPD Spark-2 [Рудашевский и др., 1991]. Данный способ, детально описанный в [Рудашевский и др., 2018], обеспечивает селективное раскалывание породы преимущественно по межзерновым границам, что в заметной степени нивелирует эффект механического переизмельчения [Юткин, 1986; Рудашевский и др., 1991; Зорин, 2022]. В результате создаются оптимальные условия для корректной визуализации и идентификации микроскопических форм локализации благородных и редких элементов [Рудашевский и др., 2018].

Продукты дезинтеграции разделены на десять гранулометрических фракций (мм): +5; –5+2.5; –2.5+1.0; –1.0+0.5; –0.5+0.315; –0.315+0.2; –0.2+0.125; –0.125+0.071; –0.071+0.045 и –0.045. Из наиболее тонкой фракции (–0.045 мм) методом ультразвуковой седиментации [Личманова, 1972] дополнительно выделен класс крупности –0.010 мм. Процесс осаждения проводился в фарфоровых чашках сферического профиля (модель Сапфир-2.8 ТТЦ, рабочий объем 2.8 л). Для количественного анализа содержания Au и сопутствующих микрокомпонентов из каждого из одиннадцати выделенных классов формировались представительные аналитические навески. Определение элементного состава осуществлялось методами атомно-абсорбционной спектроскопии (ААС) и масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС).

Для исследования микроскопических частиц рудных минералов использована технология разделения по плотности твердых частиц с помощью гидравлического классификатора (гидросепаратор CNT HS-11) и метода гидросепарации (HS-технология) [Патент..., 2006; Lastra et al., 2005]. Метод гидросепарации реализует разделение материалов с различной плотностью в пульсирующем водном потоке. Конкуренция масс частиц, захваченных восходящим слабым ламинарным потоком, приводит к осаждению тяжелых частиц на дне разделительной трубки и удалению легкой фракции. Обогащение измельченных материалов методом гидросепарации позволяет получить «тяже-

лый» концентрат (HS-концентрат), обеспечивающий статистически представительную информацию о «тяжелых» минералах для всего объема образца в интервале крупности частиц от –0.01 до 0.5 мм. Полученные концентраты представляют репрезентативные выборки зерен рудных минералов в пределах узких классов крупности, из которых изготавливаются однослойные полированные шлифы для различных методов локального минералогического приборного анализа [Рудашевский и др., 2018].

Расчет минерального баланса теллура проводился на основе валовых содержаний микроэлементов (Ni, Bi, Pb, Au, Hg, Te), полученных методами ААС и ИСП-МС для композитной пробы, в сочетании с данными микроанализа (СЭМ-EDS) по химическому составу минералов теллура. Для каждой минеральной фазы подбирался наиболее репрезентативный элемент-индикатор (например, Ni для мелонита, Bi для теллуровисмута, Hg для колорадоита), содержание которого в пробе пересчитывалось в массовую долю минерала с учетом его стехиометрии. Доля элемента, приходящаяся на конкретную фазу при наличии нескольких минералов-носителей, определялась на основе статистической обработки данных оптической и сканирующей электронной микроскопии: учитывались частота встречаемости, объемные соотношения и текстурные взаимоотношения зерен в полированных шлифах и однослойных препаратах, приготовленных из концентратов гидросепарации. После расчета основных теллуридов по маркерным элементам оценивался остаточный теллур, который распределялся между фазами с неопределенным источником пропорционально их наблюдаемой распространенности в микроассоциациях. Итоговые массовые доли всех выделенных теллуридов суммировались и нормировались до 100%, что позволило получить сбалансированную минералогическую модель.

Результаты и их обсуждение

Вещественный состав проб. Детальное описание вещественного состава и форм нахождения золота приведено в работе А. В. Чумакова с соавторами [2025]. Минералогические исследования и результаты рентгенофазового анализа показали, что метасоматиты состоят из (отн. %): кварца (38.0), хлорита (24.0), альбита (19.4), кальцита (5.7), доломита (7.0) и серицита (5.9). В метасоматитах присутствуют сульфиды (первые %), кото-

рые представлены, главным образом, пиритом. Кроме пирита в небольших количествах встречаются зерна халькопирита, сфалерита и галенита. Встречаются индивиды самородного золота. Сульфидные минералы образуют текстуры от редко

вкрапленных до густо вкрапленных и гнездообразных, а также полосчатые до массивных (рис. 1).

Определены содержания золота и его элементов-спутников по классам крупности исследуемой пробы (табл. 1). Среднее содержание золота

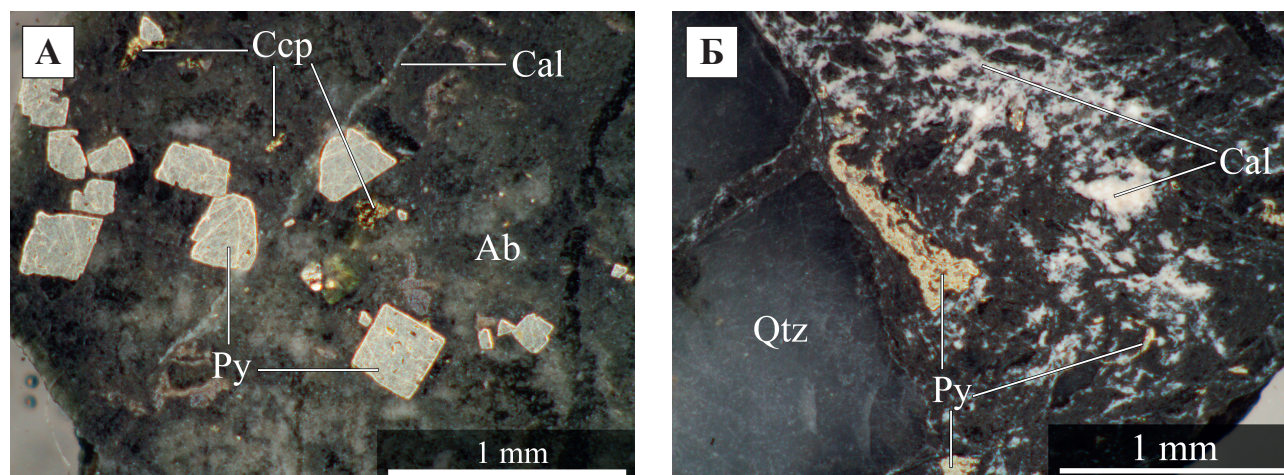


Рис. 1. Характерные образцы руд месторождения

Условные обозначения: А — рассеянная минерализация (пирит), В — минерализация, связанная с кварц-карбонатными жилами. Py — пирит, Ccp — халькопирит, Cal — кальцит, Ab — альбит, Qtz — кварц [Чумаков и др., 2025].

Fig. 1. Characteristic samples of the deposit

Legend: A — disseminated mineralization (pyrite), B — mineralization associated with quartz-carbonate veins. Py — pyrite, Ccp — chalcopyrite, Cal — calcite, Ab — albite, Qtz — quartz [Chumakov et al., 2025].

Таблица 1. Распределение редких и рассеянных элементов и серы по классам крупности, г/т

Table 1. Grain size distribution of trace elements and sulfur, g/t

Элемент / Класс крупности, мм	Au	Ag	As	Bi	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Sb	V	S, %	Te	Zn
Исходная	1.80	0.26	5	0.39	33	235	70	0.27	115	9	0.9	230	0.48	0.20	97
+5	1.08	0.10	7	0.25	32	222	111	0.18	116	7	0.6	224	0.63	0.18	79
−5+2.5	1.93	0.14	10	0.44	28	184	84	0.20	102	7	0.6	188	0.63	0.16	75
−2.5+1.0	1.69	0.18	6	0.23	28	216	77	0.17	106	8	0.7	224	0.50	0.21	77
−1.0+0.5	1.92	0.17	9	0.31	27	193	82	0.25	98	5	0.6	180	0.60	0.17	74
−0.5+0.315	1.59	0.24	8	0.38	35	217	90	0.19	113	7	0.8	195	0.87	0.19	76
−0.315+0.2	2.21	0.27	9	0.23	44	273	95	0.26	128	6	0.7	206	1.23	0.20	81
−0.2+0.125	2.20	0.38	14	0.48	48	311	98	0.29	137	8	1.0	207	1.37	0.22	80
−0.125+0.071	2.07	0.25	9	0.59	49	362	116	0.36	140	8	1.2	199	1.30	0.19	87
−0.071+0.045	1.98	0.39	9	0.55	38	361	130	0.33	138	7	1.6	190	0.80	0.23	83
−0.045+0.010	2.00	0.40	8	0.47	36	295	170	0.38	134	11	1.4	191	0.70	0.22	92
−0.010	0.38	0.21	4	0.31	33	356	90	0.30	170	18	0.6	286	0.14	0.24	121

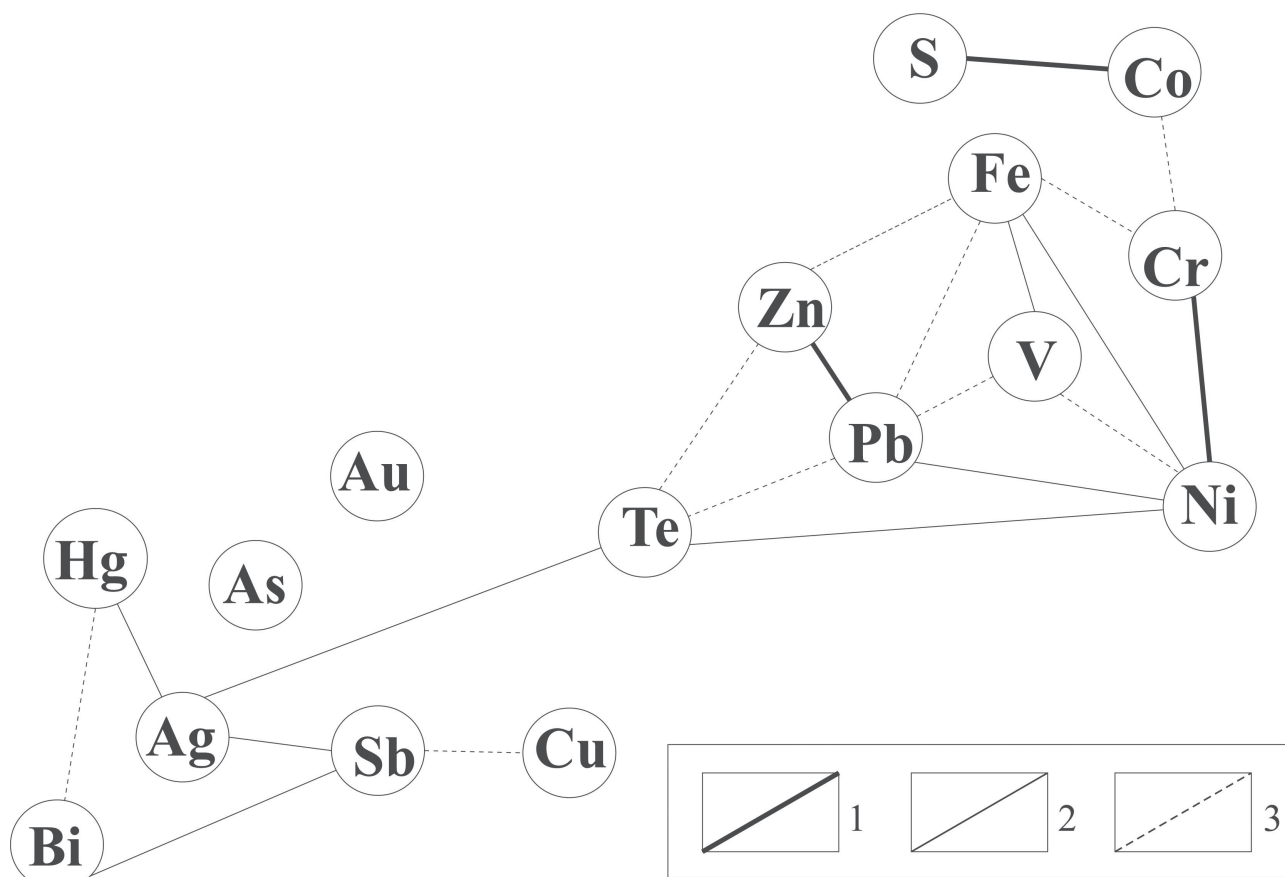


Рис. 2. Схема ветвящихся связей для редких и рассеянных элементов пробы, $r = 0.404$, $n = 12$, уровень значимости (p) = 0.05. Значения коэффициентов парной корреляции

Условные обозначения: 1–0.85–0.999 (сильная связь), 2–0.700–0.849 (средняя связь), 3–0.600–0.699 (слабая связь).

Примечание: Градация коэффициентов корреляции основана на шкале интерпретации (шкала Чеддока) с адаптацией авторами для малых выборок ($n=12$) в соответствии с требованиями статистической значимости ($p<0.05$).

Fig. 2. A branching diagram of correlations for trace elements in an ore sample, $r = 0.404$, $n = 12$, significance level (p) = 0.05. Values of pairwise correlation coefficients

Legend: 1–0.85–0.999 (strong correlation), 2–0.700–0.849 (moderate correlation), 3–0.600–0.699 (weak correlation).

Note: The grading of correlation coefficients is based on an interpretation scale (the Cheddock scale), which the authors have adapted for small samples ($n=12$) in accordance with the requirements for statistical significance ($p<0.05$).

составляет 1.9 г/т. Среднее содержание сульфидной серы в пробе варьируется в пределах 0.5–1.5 мас. %. Содержание микроэлементов изменяется в пределах (г/т): Ag: 0.1–0.4, As: 6–14, Bi: 0.2–0.6, Te: 0.16–0.24, Hg: 0.17–0.38, Co: 27–49, Ni: 98–184, Cu: 70–170, Pb: 5–20, Zn: 74–124, Sb: 0.6–1.2.

Структура геохимических связей, представленная на корреляционном графе (рис. 2), демонстрирует существование рудообразующей системы с центральным теллур-полиметаллическим узлом, где Te проявляет устойчивое сродство к Ni, Pb и Zn. Эта связь предположительно обусловлена наличием в рудах парагенезиса мелонита, алтаита и теллурсодержащего галенита, которые интегрированы в более широкий сульфидно-си-

дерофильный кластер Fe-Ni-Cr-V. В то же время теллур через Ag связывается с халькофильной ассоциацией Bi-Hg-Sb-Cu, что объясняет формирование таких специфических фаз, как колорадоит и теллуrowисмутит. Учитывая ограниченное число аналитических навесок ($n = 12$), приведенные коэффициенты парной корреляции следует рассматривать как оценочные, отражающие общие геохимические тенденции, а не строгие статистические закономерности. В этом контексте слабая корреляция Au и As с теллуридными кластерами на схеме согласуется с предположением о совмещении различных генераций руд.

Формы нахождения теллура в рудах золото-сульфидного месторождения

При изучении характерных аншлифов и однослойных полированных препаратов, изготовленных из концентратов гидросепарации -0.071 ± 0.045 и -0.045 ± 0.010 выделены разнообразные минеральные и микроминеральные фазы минералов теллура (рис. 3).

Калаверит в исследуемых рудах зафиксирован в виде включения в пирите, имеющего изометричную форму. Частица размером 4 мкм локализована в пирите. Химический состав калаверита соответствует формуле AuTe_2 , где содержание элементов, по данным энергодисперсионного микроанализа, составляет: Au — 45.82 мас. %, Te — 54.18 мас. %, $n = 6$.

Алтаит представлен ксеноморфными и пластинчатыми частицами, размер которых достигает 20–40 мкм. Минерал образует тесные сростания с коларитом, халькопиритом и кварцем, нередко локализуясь на границах зерен сульфидов и нерудных минералов. Типовой химический состав алтаита выражается формулой PbTe со следующими параметрами: Pb — 62.20 мас. %, Te — 37.80 мас. %, $n = 8$.

Коларит обнаруживается в виде мелких зерен неправильной морфологии размером от 5 до 10 мкм. Для него характерны сростания с калаверитом и алтаитом. Химический состав коларита (PbTeCl_2) характеризуется содержанием: Pb — 51.85 мас. %, Te — 32.07 мас. %, Cl — 16.08 мас. %, $n = 11$.

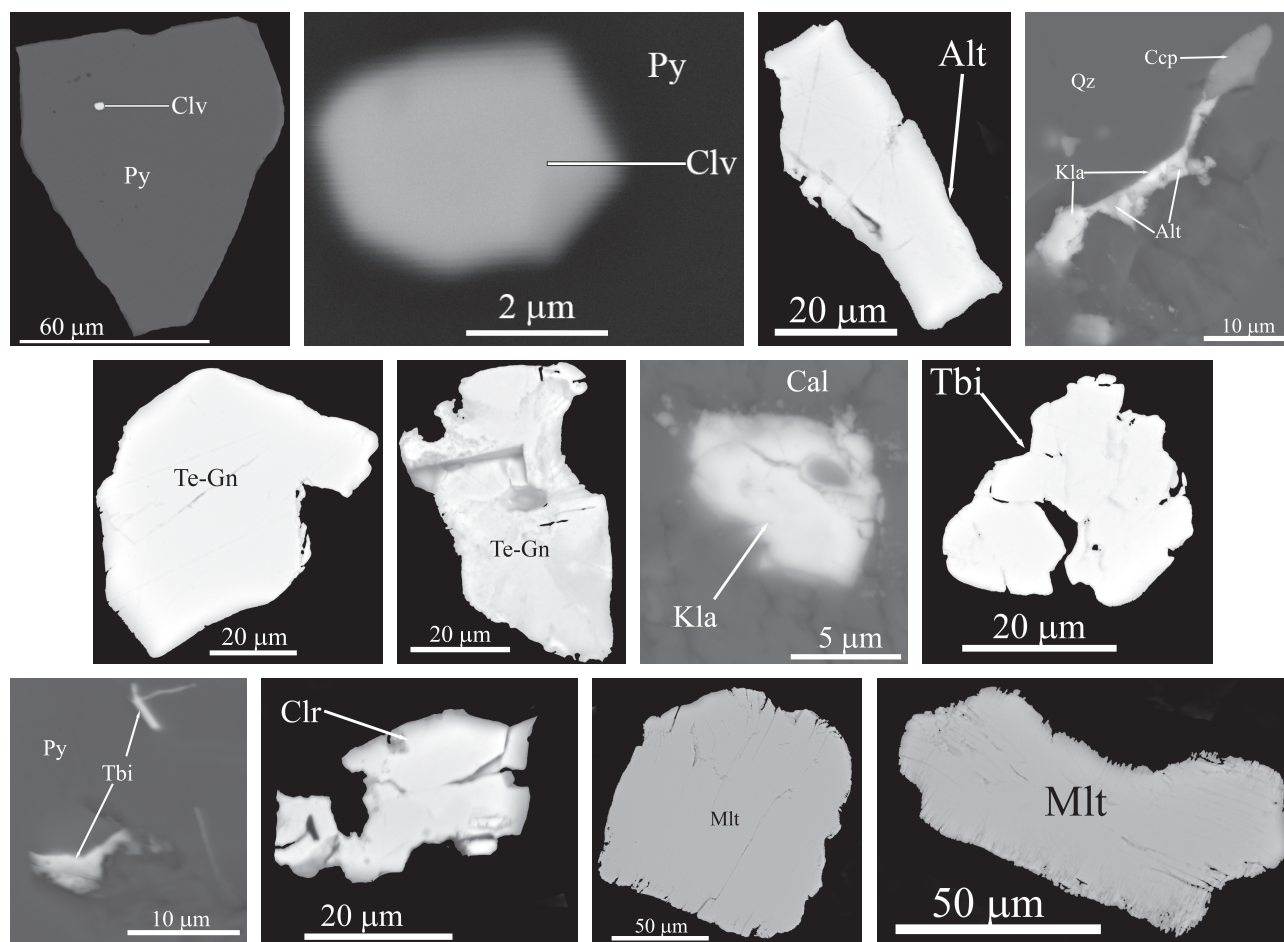


Рис. 3. Минералы теллура, отмеченные в исследованной пробе золото-сульфидной руды

Условные обозначения: Py — пирит, Clv — калаверит, Alt — алтаит, Qz — кварц, Cal — кальцит, Ccp — халькопирит, Kla — коларит, Tbi — теллуrowисмутит, Clr — колорадоит, Te-Gn — теллуросодержащий галенит, Mlt — мелонит.

Fig. 3. Tellurium minerals identified in the gold-sulphide ore sample studied

Legend: Py — pyrite, Clv — calaverite, Alt — altaite, Qz — quartz, Cal — calcite, Ccp — chalcopyrite, Kla — colarite, Tbi — tellurobismuthite, Clr — coloradoite, Te-Gn — tellurium-bearing galena, Mlt — melonite.

Теллуровисмутит характеризуется сложной морфологией, встречаясь как в виде округлых агрегатов размером около 20 мкм, так и в форме тонких игольчатых кристаллов длиной до 10 мкм в пирите. Химический состав минерала отвечает формуле Bi_2Te_3 : Bi — 56.40, мас. %, Te — 43.60 мас. %, $n = 8$.

Колорадоит отмечен в виде единичной находки свободной частицы размером около 30–40 мкм. Химический состав колорадоита (HgTe) включает в себя: Hg — 65.50 мас. %, Te — 34.50 мас. %, $n = 5$.

Мелонит образует наиболее крупные частицы среди теллуридов, формируя таблитчатые и удлиненные зерна размером от 50 до 100 мкм. На снимках отчетливо видна морфология зерен, которая свидетельствует о его самостоятельном образовании. Химический состав мелонита описывается формулой NiTe_2 : Ni — 16.00 мас. %, Te — 84.00 мас. %, $n = 8$.

Теллуросодержащий галенит (Te-Gn) присутствует в виде угловатых частиц размером 20–30 мкм. Внутренняя структура зерен часто неоднородна, что может быть связано с наличием

субмикронных включений теллуридов. Химический состав данной фазы: Pb (S, Te): Pb — 85.89 мас. %, S — 12.61 мас. %, Te — 1.50 мас. %, $n = 6$.

Расчет формул минералов проведен по общему числу катионов [Булах и др., 2014], результаты приведены в таблице 2. Расхождение эмпирических формул с теоретическими стехиометрическими формулами связано с малым размером зерен (<20 мкм), вследствие чего аналитический объем электронного пучка частично захватывает вмещающую матрицу (пирит, кварц) или соседние минеральные фазы в сростках.

На основании данных о содержании микроэлементов, о количественной оценке зерен в HS-конcentратах, а также данных о составе самих минералов оценен минеральный баланс минералов теллура в исследуемой пробе (табл. 3).

Анализ минерального баланса теллура (табл. 3) демонстрирует, что основным концентратом данного элемента в изученных рудах выступает мелонит (NiTe_2), на долю которого приходится 78.45% от общей суммы теллуридов. Значительное присутствие коларита (13.07%) и алтаита (6.36%) при подчиненной роли золото- и висмутсо-

Таблица 2. Средний химический состав минералов теллура
Table 2. Average chemical composition of tellurium minerals

Минерал	Содержание химических элементов, мас. %									Число анализов	Эмпирическая формула
	Te	Au	Bi	Pb	S	Ni	Hg	Cl	Sum		
Калаверит	54.18	45.82							100.00	6	$\text{Au}_{1.00}\text{Te}_{1.83}$
Теллуровисмутит	43.60		56.40						100.00	8	$\text{Bi}_{2.00}\text{Te}_{2.53}$
Алтаит	37.80			62.20					100.00	3	$\text{Pb}_{1.00}\text{Te}_{0.99}$
Колорадоит	34.50						65.50		100.00	5	$\text{Hg}_{1.00}\text{Te}_{0.83}$
Коларит	32.07			51.85				16.08	100.00	11	$\text{Pb}_{1.00}\text{Te}_{1.00}\text{Cl}_{1.81}$
Мелонит	16.00					84.00			100.00	8	$\text{Ni}_{1.00}\text{Te}_{2.41}$
Те-галенит	1.50			85.89	12.61				100.00	6	$\text{Pb}_{1.00}(\text{S}_{0.95}, \text{Te}_{0.03})_{0.98}$

Таблица 3. Содержание минералов теллура в пробе золото-сульфидной руды
Table 3. Tellurium mineral content in a sample of gold-sulphide ore

Минерал	Химическая формула	Содержание, мас. %	Доля, %
Мелонит	NiTe_2	0.00625	78.44
Коларит	PbTeCl_2	0.00104	13.07
Алтаит	PbTe	0.00051	6.36
Теллуровисмутит	Bi_2Te_3	0.00007	0.86
Те-галенит	Pb (S, Te)	0.00005	0.66
Колорадоит	HgTe	0.00003	0.37
Калаверит	AuTe_2	0.00002	0.24
Сумма:		0.07359	100.00

державших фаз (калаверит, теллуриовисмутит, колорадоит) указывает на сложную, многостадийную эволюцию гидротермальной системы. Широкий спектр теллуридов (Ni-, Pb-, Bi-, Hg-, Au-производные), их тесные сростания с сульфидами и нерудными минералами, а также преимущественно микронные размеры (4–100 мкм) характеризуют особенности текстуры и состава рудного вещества.

Заключение

Впервые для золото-сульфидного месторождения Среднего Урала детально охарактеризована теллуровая минерализация, представленная семью минеральными фазами: мелонитом, коларитом, алтаитом, теллуриовисмутитом, теллуродержащим галенитом, колорадоитом и калаверитом.

Минеральный баланс демонстрирует существенное преобладание мелонита (NiTe₂), составляющего 78.45% от суммы теллуридов, что отражает специфику локальных геохимических аномалий Ni и Te в поздних гидротермальных флюидах.

Теллуриды представлены индивидами микронного размера (4–100 мкм) и фиксируются преимущественно в пирите, по межзерновым границам сульфидных агрегатов, а также в кварц-карбонатных прожилках.

Применение комбинированной технологии электроимпульсной дезинтеграции и гидросепарации обеспечило статистически представительную выборку тяжелых минералов без их переизмельчения и загрязнения, что позволило достоверно идентифицировать тонкодисперсные теллуриды.

Результаты исследования предоставляют ценные данные для разработки более эффективных технологий обогащения, особенно для цианирования и извлечения золота из теллуродержащих руд [Лобанов и др., 2015].

Список литературы

Анисимова Г. С., Кондратьева Л. А., Кардашевская В. Н., Мустафин С. К. Особенности золото-серебро-висмут-теллуровой минерализации Аллах-Юньской металлогенической зоны (Северо-Восток России) // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2021. Т. 26. № 3. С. 5–30. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2021-26-3-5-30>

Булах А. Г., Золотарев А. А., Кривовичев В. Г. Структура, изоморфизм, формулы, классификация минералов. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2014. 133 с.

Войтеховский Ю. Л., Чернявский А. В., Басалаев А. А., Савченко Е. Э. Золото рудопоявления Кайралы: первые результаты // Золото Кольского полуострова и сопредель-

ных регионов / Отв. ред. Ю. Л. Войтеховский. Апатиты: Изд-во К&М, 2010. С. 8–10.

Волошин А. В., Чернявский А. В., Войтеховский Ю. Л. Теллуридная минерализация в золоторудных проявлениях Панареченской вулcano-тектонической структуры, Кольский полуостров // Вестник Кольского научного центра РАН. 2012. № 1. С. 67–79.

Зорин А. С. Электроимпульсная технология дробления твердых диэлектрических материалов. Факторы, оказывающие влияние на динамику разрядных процессов // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Технические науки. 2022. Т. 13. № 3. С. 87–96. DOI:10.37614/2949–1215.2022.13.3.009

Иванов А. А., Переляев А. П. Минералы группы золота // Минералогия Урала / Под. ред. А. Е. Ферсмана, А. Г. Бетехтина. М.; Л.: АН СССР, 1941. Т. 2. С. 60–101

Извекова А. Д., Дамдинов Б. Б., Дамдинова Л. Б., Мо-сквитина М. Л. Золото-теллуридная минерализация в рудах Пионерского золото-кварцевого месторождения (Восточный Саян, Россия) // Геология рудных месторождений. 2021. Т. 63. № 6. С. 498–519. <https://doi.org/10.31857/S0016777021060022>

Казаков И. И., Стороженко Е. В., Харитонов И. Н., Стефановский В. В., Кошевой Ю. Н., Козьмин С. В., Мартынов С. Э., Фадеева И. Ф., Ронкин Ю. Л., Лукин В. Г. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200000 (издание второе). Серия Среднеуральская. Лист О-41-XXVI (Асбест). Объяснительная записка. СПб: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2017, 284 с. + 13 вкл.

Касаткин А. В., Циганко М. В., Нестола Ф. Теллуровая минерализация золото-кварцевого месторождения Приозерное (Северный Урал) // Минералогия. 2023. Т. 9. № 1. С. 5–22. <https://doi.org/10.35597/2313-545X-2023-9-1-1>

Личманова А. И. Применение ультразвука в подготовке почв к механическому анализу // Бюллетень Почвенного института им. В. В. Докучаева. 1972. № 4. С. 42–47.

Лобанов В. Л., Набиуллин Ф. М., Начаров В. Б., Филонов Н. А., Маковская О. Ю., Тимофеев Е. И. Патент № 2541236. Способ извлечения золота из теллуридных руд и концентратов. Заявлено 23.04.2013. Бюл. № 4. Опубликовано 10.02.2015.

Масленников В. В. Литогенез и колчеданообразование. Миасс: ИМин УрО РАН, 2006. 384 с.

Масленникова С. П., Масленников В. В. Сульфидные трубы палеозойских «черных курильщиков». Миасс: ИМин УрО РАН, 2007. 312 с.

Молошаг В. П. Генетические особенности теллуридной минерализации колчеданных месторождений Урала // Металлогения древних и современных океанов. Миасс: ИМин УрО РАН, 2011. С. 150–153.

Молошаг В. П., Грабежов А. И., Гуляева Т. Я. Условия образования теллуридов в рудах колчеданных и медно-золото-порфировых месторождений Урала // Записки ВМО. 2002. № 5. С. 40–54.

Николаева А. Н., Мазуров А. К. Теллуриовисмутная минерализация в рудах Малеевского колчеданного месторождения (Восточный Казахстан) // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг гео-

ресурсов. 2024. Т. 335. № 5. С. 233–250. <https://doi.org/10.18799/24131830/2024/5/4636>

Патент № 2281808 Гидравлический классификатор. Заявлено 08.12.2004. Опубликовано 20.08.2006. Бюл. № 23 / Н. С. Рудашевский, В. Н. Рудашевский.

Рахимов И. Р., Савельев Д. Е., Шагалов Е. С., Анкушева Н. Н., Панкрушина Е. А. Геология, минералогия, геохимия и условия формирования золотокварцевого месторождения Тукал (Худозавовская муьда, Южный Урал) // Литосфера. 2022. Т. 22. № 2. С. 200–218. <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2022-22-2-200-218>

Рудашевский Н. С., Бураков Б. В., Лупал С. Д., Шуляков А. Д., Курец В. И. Электроимпульсная дезинтеграция — оптимальная технология высвобождения ненарушенных зерен акцессорных минералов // Доклады Академии Наук СССР. 1991. Т. 319. № 1. С. 219–222.

Рудашевский Н. С., Рудашевский В. Н., Антонов А. В. Универсальная минералогическая технология исследования пород, руд и технологических продуктов // Региональная геология и металлогения. 2018. № 73. С. 88–102.

Рудно-формационный и рудно-фациальный анализ колчеданных месторождений Уральского палеоокеана / В. В. Зайков, В. В. Масленников, Е. В. Зайкова, Р. Херрингтон. Миасс: ИМин УрО РАН, 2001. 212 с.

Сазонов В. Н., Огородников В. Н., Коротеев В. А., Полонов Ю. А. Месторождения золота Урала: Научное издание (второе, исправленное и дополненное). Екатеринбург: УГГГА, 2001. 622 с.

Серавкин И. Б. Эндогенная металлогения золота // Геологический сборник. 2009. № 8. С. 164–176.

Спиридонов Э. М. О последовательности образования и типохимизме теллуридов золота-серебра в месторождениях плутоногенной золото-кварцевой формации (Северный Казахстан) // Традиционные и новые направления в минералогических исследованиях. М.: ИГЕМ РАН. 2001. С. 149–151.

Спиридонов Э. М. Обзор минералогии в ведущих типах Au-минерализации // Золото Кольского полуострова и сопредельных регионов / Отв. ред. Ю. Л. Войтеховский. Апатиты: Изд-во К&М, 2010. С. 143–171.

Страховенко В. Д. Минералого-геохимические особенности поведения теллура, селена и серебра в рудах редкометалльных месторождений Казахстана (Северный Катпар, Коктен-Коль, Верхнее Кайракты) // Геология и геофизика. 1995. Т. 36. № 7. С. 59–64.

Целуйко А. С., Масленников В. В., Аюпова Н. Р., Масленникова С. П., Данюшевский Л. В. Теллуридная минерализация в обломочных рудах медноколчеданного месторождения Юбилейное (Южный Урал) // Геология рудных месторождений. 2019. Т. 61. № 2. С. 39–71. <https://doi.org/10.31857/S0016-777061239-71>

Чумаков А. В., Аликин О. В., Рудашевский В. Н., Удинова С. А., Панова Е. Г., Лейбгам П. Н. Типоморфизм золота в метасоматитах золотосульфидного месторождения (Средний Урал) // Вестник геонаук. 2025. Т. 361. № 1. С. 4–13. <https://doi.org/10.19110/geov.2025.1.1>

Юткин Л. А. Электрогидравлический эффект и его применение в промышленности. СПб.: Машиностроение, 1986. 252 с.

Belogub E., Novoselov K., Palenova E., Zabolina M., Khvorov P. Mineralogy of oxidized ore of Ikryanskoye gold deposit (Sverdlovsk district, Russia) // Ore genesis. Proceeding papers of the international conference. Miass: IMin UB RAS, 2013. P. 22–24.

Ciobanu C. L., Cook N. J., Spry P. G. Preface — Special Issue: Telluride and selenide minerals in gold deposits — how and why? Mineralogy and Petrology. 2006. V. 87. P. 163–169.

Cook N. J., Ciobanu C. L. Tellurides: more than mineralogical curiosities, but also markers of fS2-fO2 evolution in zoned hydrothermal systems // IMA, 18th General Meeting, Program with Abstracts, Edinburgh. 2002. 283 p.

Goldfarb R. J., Berger B. R., George M. W., Seal, R. R. II. Tellurium, chap. R of Schulz, K. J., DeYoung, J. H., Jr., Seal, R. R., II, and Bradley, D. C., eds., Critical mineral resources of the United States-Economic and environmental geology and prospects for future supply: U.S. Geological Survey Professional Paper 1802, 2017. P. R1 — R27. <https://doi.org/10.3133/pp1802R>

Hassan Y. L., Roberts M. P. Tellurides associated with volcanogenic massive sulfide (VMS) mineralization at Yuinmery and Austin, Western Australia // Ore Geology Review. 2017. V. 80. P. 352–362. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2016.07.005>

Jin W., Chen S., Chen J., Chen J., Zhao Y., Zan P., Wu R. Mineralogy and geochemistry of tellurides and pyrite from the Laowan Au–Ag–Te deposit, Qinling–Dabie orogenic belt, central China: Implications for ore genesis // Ore Geology Review. 2021. V. 139. 104519. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2021.104519>

Lastra R., Price J., Cabri L. J., Rudashevsky N. S., Rudashevsky V. N., McMahon G. Gold characterization of a sample from Malartic East (Québec) using concentration by hydroseparator // Proceedings International Symposium on the Treatment of Gold Ores, Calgary, Alberta // Eds. by. Deschênes, D. Houdin, L. Lorenzen. 2005. P. 17–29.

References

Anisimova G. S., Kondratieva L. A., Kardashevskaya V. N., Mustafin S. K. (2021) Features of the gold-silver-bismuth-tellurium mineralization in the Allakh-Yun metallogenic zone (North-East of Russia). Arctic and Subarctic Natural Resources. 26 (3), 5–30. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2021-26-3-5-30> (In Russian).

Bulakh A. G., Zolotarev A. A., Krivovichev V. G. (2014) Structure, isomorphism, formulas, and classification of minerals. Saint-Petersburg. 133 p. (In Russian).

Voitekhovskiy Yu. L., Chernyavskiy A. V., Basalaev A. A., Savchenko E. E. (2010) Gold of the Kairaly ore occurrence: first results. Gold of the Kola Peninsula and adjacent regions / Ed. Yu. L. Voitekhovskiy. Apatity: K&M Publishing House. P. 8–10. (In Russian).

Voloshin A. V., Chernyavskiy A. V., Voitekhovskiy Yu. L. (2012) Telluride mineralisation in the gold-bearing occurrence

es of the Panarechenskaya volcano-tectonic structure, Kola Peninsula. Bulletin of the Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences. 1, 67–79. (In Russian).

Zorin A. S. (2022) Electric pulse technology for crushing solid dielectric materials. Factors influencing the dynamics of discharge processes. Proceedings of the Kola Science Center of the Russian Academy of Sciences. Series: Technical sciences. 13 (3), 87–96. <https://doi.org/10.37614/2949-1215.2022.13.3.009> (In Russian).

Ivanov A. A., Perelyaev A. P. (1941) Minerals of the gold group. Mineralogy of the Urals, 2. USSR Academy of Sciences. 60–101. (In Russian).

Izvekova A. D., Damdinov B. B., Damdinova L. B., Moskvitina M. L. (2021) Gold-telluride mineralization in ores of the Pionerskoye gold-quartz deposit (Eastern Sayan, Russia). Geology of ore deposits. 63 (6), 498–519. <https://doi.org/10.31857/S0016777021060022> (In Russian).

Kazakov I. I., Storozhenko E. V., Kharitonov I. N., Stefanovsky V. V., Koshevoy Yu. N., Kozmin S. V., Martynov S. E., Fadeicheva I. F., Ronkin Yu. L., Lukin V. G. (2017) State Geological Map of the Russian Federation at a scale of 1:200000 (second edition). Middle Ural Series. Sheet O-41-XXVI (Asbestos). Explanatory note. St. Petersburg: VSEGEI Cartographic Factory, 284 p. + 13 incl. (In Russian).

Kasatkin A. V., Tsyganko M. V., Nestola F. (2023) Tellurium mineralization of the Priozernoe gold-quartz deposit (Northern Urals). Mineralogy. 9 (1), 5–22. <https://doi.org/10.35597/2313-545X-2023-9-1-1> (In Russian).

Lichmanova A. I. (1972) Application of ultrasound in soil preparation for mechanical analysis. Bulletin of the Soil Institute named after V. V. Dokuchaev. 4, 42–47. (In Russian).

Lobanov V. L., Nabiullin F. M., Nacharov V. B., Filonov N. A., Makovskaya O. Yu., Timofeev E. (2015) Patent No. 2541236. A method for extracting gold from telluride ores and concentrates. Filed on 23 April 2013. Published on 10 February 2015. Bulletin No. 4. (In Russian).

Maslennikov V. V. (2006) Lithogenesis and Pyrite Formation. Miass: UB RAS. 384 p. (In Russian).

Maslennikova S. P., Maslennikov V. V. (2007) Sulphide pipes of the Palaeozoic ‘black smokers’. Miass: UB RAS. 312 p. (In Russian).

Moloshag V. P. Genetic characteristics of telluride mineralisation in pyrite deposits of the Urals. Metallogeny of Ancient and Modern Oceans, Miass. UB RAS. 150–153. (In Russian).

Moloshag V. P., Grabezhev A. I., Gulyayeva T. Ya. (2002) Conditions for the formation of tellurides in ores of chalcopyrite and copper-zinc porphyry deposits in the Urals. Proceedings of the Russian Mineralogical Society. 5, 40–54. (In Russian).

Nikolaeva A. N., Mazurov A. K. (2024) Tellurium-bismuth mineralization in the ores of the Maleevskoe pyrite deposit (Eastern Kazakhstan). Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering. 335 (5), 233–250. <https://doi.org/10.18799/24131830/2024/5/4636> (In Russian).

Patent No. 2281808 Hydraulic classifier. N. S. Rudashevsky, V. N. Rudashevsky; Claimed 08.12.2004. Published 20.08.2006. Bulletin No. 23. (In Russian).

Rakhimov I. R., Saveliev D. E., Shagalov E. S., Anku-sheva N. N., Pankrushina E. A. (2022) Geology, mineralo-

gy, geochemistry and conditions of forming the Tukan gold-quartz deposit (Khudolaz trough, South Urals). Lithosphere (Russia). 22 (2), 200–218. <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2022-22-2-200-218> (In Russian).

Rudashevsky N. S., Burakov B. V., Lupal S. D., Shuloyakov A. D., Kurets V. I. (1991) Electropulse disintegration is an optimal technology for releasing undisturbed grains of accessory minerals. Doklady Earth Sciences. 319 (1), 219–222. (In Russian).

Rudashevsky N. S., Rudashevsky V. N., Antonov A. V. (2018) Universal mineralogical technology for the study of rocks, ores and technological products. Regional Geology and Metallogeny. 73, 88–102. (In Russian).

Ore-formation and ore-facies analysis of pyrite deposits in the Ural Palaeo-ocean (2001) / Zaikov V. V., Maslennikov V. V., Zaikova E. V., Harrington R. Miass: UB RAS. 212 p. (In Russian).

Sazonov V. N., Ogorodnikov V. N., Koroteev V. A., Pole-nov Yu. A. (2001) Gold deposits of the Urals: Scientific publication (second, corrected and supplemented). Yekaterinburg: USMGA Publishing house. 622 p. (In Russian).

Seravkin I. B. (2009) Endogenous metallogeny of gold. Geological collection. 8, 164–176. (In Russian).

Spiridonov E. M. (2001) On the sequence of formation and typochemical characteristics of gold-silver tellurides in deposits of the plutogenic gold-quartz formation (Northern Kazakhstan). Traditional and New Directions in Mineralogical Research. Moscow: IGEM RAS. 149–151. (In Russian).

Spiridonov E. M. (2010) Review of mineralogy in the leading types of Au mineralization. Gold of the Kola Peninsula and adjacent regions. Ed. Yu. L. Voitekhovskiy. Apatity: K&M Publishing House. 143–171. (In Russian).

Strakhovenko V. D. (1995) Mineralogical and geochemical characteristics of the behaviour of tellurium, selenium and silver in ores from rare-metal deposits in Kazakhstan (Northern Katpar, Kokten-Kol, Verkhnee Kairakty). Geology and Geophysics. 36 (7), 59–64. (In Russian).

Tseluyko A. S., Maslennikov V. V., Ayupova N. R., Maslennikova S. P., Danyushevsky L. V. (2019) Tellurium-bearing minerals in clastic ores of Ybileynoe massive sulfide deposit (South Urals). Geology ore deposits. 62 (2), 39–71. <https://doi.org/10.31857/S0016-777061239-71> (In Russian).

Chumakov A. V., Alikin O. V., Rudashevsky V. N., Udintsova S. A., Panova E. G., Leibham P. N. (2025) Gold typomorphism in metasomatites of gold-sulfide deposit (Middle Urals, Trans-Ural megazone). Vestnik of Geosciences. 361 (1), 4–13, <https://doi.org/10.19110/geov.2025.1.1> (In Russian).

Yutkin L. A. (1986) Electrohydraulic effect and its application in industry. Mechanical engineering. Saint-Petersburg. 252 p. (In Russian).

Belogub E., Novoselov K., Palenova E., Zabolotina M., Khvorov P. (2013) Mineralogy of oxidized ore of Ikryanskoye gold deposit (Sverdlovsk district, Russia). Ore genesis. Proceeding papers of the international conference. Miass: IMin UB RAS. 22–24.

Ciobanu C. L., Cook N. J., Spry P. G. (2006) Preface — Special Issue: Telluride and selenide minerals in gold deposits — how and why? Mineralogy and Petrology. 87, 163–169.

Cook N. J., Ciobanu C. L. (2002) Tellurides: more than mineralogical curiosities, but also markers of fS2-fO2 evolution in zoned hydrothermal systems. IMA, 18th General Meeting, Programm with Abstracts, Edinburg, Scotland. 283 p.

Goldfarb R. J., Berger B. R., George M. W., Seal, R. R. (2017) Tellurium, chap. R of Schulz, K. J., DeYoung, J. H., Jr., Seal, R. R., II, and Bradley, D. C., eds., Critical mineral resources of the United States-Economic and environmental geology and prospects for future supply: U. S. Geological Survey Professional Paper 1802, R1-R27. <https://doi.org/10.3133/pp1802R>

Hassan Y. L., Roberts M. P. (2017) Tellurides associated with volcanogenic massive sulfide (VMS) mineralization at Yuinmery and Austin, Western Australia. Ore Geol-

ogy Review. 80, 352–362. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2016.07.005>

Jin W., Chen S., Chen J., Chen J., Zhao Y., Zan P., Wu R. (2021) Mineralogy and geochemistry of tellurides and pyrite from the Laowan Au–Ag–Te deposit, Qinling–Dabie orogenic belt, central China: Implications for ore genesis. Ore Geology Review. 139. 104519. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2021.104519>

Lastra R., Price J., Cabri L. J., Rudashevsky N. S., Rudashevsky V. N., McMahon G. (2005) Gold characterization of a sample from Malartic East (Québec) using concentration by hydroseparator. Proceedings International Symposium on the Treatment of Gold Ores, Calgary, Alberta. Eds. by. Deschênes, D. Houdin, L. Lorenzen. 17–29.

Сведения об авторах:

Чумаков Александр Васильевич, ООО «ЦНТ Инструментс», г. Санкт-Петербург, Россия, tchumakov.a.v@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0000-4311-9130>

Лейбгам Полина Никодимовна, ФГБУ «Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов» (ФГБУ «ЦНИГРИ»), г. Москва, Россия, leibham@tsnigri.ru, <https://orcid.org/0009-0002-3426-7734>

Савельев Дмитрий Евгеньевич, доктор геол.-минерал. наук, Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН), г. Уфа, Россия, savl71@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8910-6992>

Аликин Олег Владимирович, ООО «ЦНТ Инструментс», г. Санкт-Петербург, Россия, o.v.alikin@yandex.ru

Рудашевский Владимир Николаевич, кандидат геол.-минерал. наук, ООО «ЦНТ Инструментс», г. Санкт-Петербург, Россия, vlad.rudashevsky@gmail.com

About the authors:

Chumakov Aleksandr Vasilevich, CNT Instruments LLC, Russia, 195275, St Petersburg, 69 Revolyutsii Highway, Building I, tchumakov.a.v@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0000-4311-9130>

Leibham Polina Nikodimovna, Federal State Budgetary Institution “Central Research Institute for Exploration of Non-Ferrous and Precious Metals” (FSBI “TsNIGRI”), Russia, 117545, Moscow, Varshavskoye Shosse, 129, Building 1. leibham@tsnigri.ru, <https://orcid.org/0009-0002-3426-7734>

Saveliev Dmitry Evgenievich, Dr. Sci. (Geol., Mineral.), Institute of Geology - Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IG UFRS RAS), Ufa, Russia, savl71@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8910-6992>

Alikin Oleg Vladimirovich, CNT Instruments LLC, Russia, 195275, St Petersburg, 69 Revolyutsii Highway, Building I, o.v.alikin@yandex.ru

Rudashevsky Vladimir Nikolaevich, PhD in Geology and Mineralogy, CNT Instruments LLC, Russia, 195275, St Petersburg, 69 Revolyutsii Highway, Building I, vlad.rudashevsky@gmail.com

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

The authors contributed equally to this article.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 04.05.2026; одобрена после рецензирования 05.06.2026; принята к публикации 01.07.2026

The article was submitted 04.05.2026; approved after reviewing 05.06.2026; accepted for publication 01.07.2026