

ГЕОЛОГИЯ, ПОИСКИ И РАЗВЕДКА ТВЕРДЫХ
ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ, МИНЕРАГЕНИЯ

Научная статья

УДК 552.13

<https://doi.org/10.21285/2686-9993-2023-46-1-36-50>Состав руд и характеристика самородного золота
одного из рудопроявлений Восточного ЗабайкальяТ.С. Никанюк^{а,б}^аАО «ИРГИРЕДМЕТ», г. Иркутск, Россия^бИнститут геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, г. Иркутск, Россия

Резюме. Статья посвящена характеристике руд одного из рудопроявлений Мунгинского узла, расположенного на западном фланге одного из промышленных месторождений Восточного Забайкалья. Руды данного перспективного рудопроявления изучены слабо, особенно в технологическом плане, что и послужило основанием для проведения исследования их состава и характеристики их главного полезного компонента – самородного золота. Исследование состава руд и измененных пород проводилось методами атомно-эмиссионного спектрального количественного анализа, рентгенофлуоресцентного, а также фазового атомно-абсорбционного анализа и атомно-эмиссионного анализа с индуктивно связанной плазмой ICP-AES. Массовая доля общего и органического углерода определялась в Центральной пробирно-аналитической лаборатории АО «Покровский рудник» г. Благовещенска. Доля карбонатного диоксида углерода устанавливалась по методике «Титриметрическое определение диоксида углерода». Содержание золота приводилось по данным пробирной плавки, серебра – по данным атомно-абсорбционного анализа. Петрографические и минераграфические исследования осуществлялись на оптическом микроскопе Olympus VX-51. Минеральный состав пробы руды также оценивался по результатам рентгеноструктурного (дифрактометрического) анализа. Количественный минеральный состав изучался на дробленном материале исходной руды крупностью -2 мм с использованием данных микроскопических исследований прозрачных и полированных шлифов на микроскопе Nikon Eclipse LV 100 POL. Содержание гидроксидов железа определялось по разнице в весе после обработки пробы 10 %-м раствором щавелевой кислоты на водяной бане. Сравнивая полученные результаты по рудопроявлению с материалами по составу руд ближайшего месторождения, расположенного в 30 км, можно отметить, с одной стороны, их близость и однотипность, а с другой – некоторые отличия. Общими параметрами является довольно высокая степень сульфидности руд и их сходный химический и минеральный состав с преобладанием арсенопирита и повышенной ролью висмута, преобладание мелкого золота и его сходные морфологические характеристики. Данный факт позволяет рассматривать исследуемое рудопроявление восточного Забайкалья как составную часть единой рудной системы ближайшего месторождения.

Ключевые слова: Восточное Забайкалье, Балейский рудный район, эпitherмальное и мезотермальное месторождения, рудопроявление, химический и минеральный состав, пробность золота

Для цитирования: Никанюк Т.С. Состав руд и характеристика самородного золота одного из рудопроявлений Восточного Забайкалья // Науки о Земле и недропользование. 2023. Т. 46. № 1. С. 36–50. <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2023-46-1-36-50>.

GEOLOGY, PROSPECTING AND EXPLORATION
OF SOLID MINERALS, MINERAGENY

Original article

Ore composition and native gold characteristics
of an ore occurrence in Eastern TransbaikaliaTatiana S. Nikanyuk^{а,б}^аJSC IRGIREDMET, Irkutsk, Russia^бVinogradov Institute of Geochemistry SB RAS, Irkutsk, Russia

© Никанюк Т.С., 2023



Abstract. The article deals with the characteristics of the ores of an ore occurrence of the Munginsky cluster located on the western flank of one of the commercial fields of Eastern Transbaikalia. The ores of this promising ore occurrence are underexplored, especially in the technological aspect, which served the basis for studying their composition and characterizing native gold as their main commercial component. The composition of ores and altered rocks was studied by the following methods: atomic emission spectral quantitative analysis, X-ray fluorescence, as well as phase atomic absorption and atomic emission analysis with inductively coupled plasma ICP-AES. The mass fraction of total and organic carbon was determined in the Central Fire Assay Laboratory of JSC Pokrovsky Rudnik, Blagoveshchensk. The proportion of carbonate carbon dioxide was determined by the method of titrimetric determination of carbon dioxide. The content of gold was given according to the data of assay melting, the content of silver – according to the data of atomic absorption analysis. Petrographic and mineragraphic studies were carried out using an optical microscope Olympus BX-51. The mineral composition of the ore sample was also estimated based on the results of X-ray diffraction analysis. The quantitative mineral composition was studied on the crushed material of the original ore with a particle size of -2 mm using the microscopic study data of transparent and polished thin sections on a microscope Nikon Eclipse LV 100 POL. The content of iron hydroxides was determined from the weight difference after the sample was treated with a 10 % oxalic acid solution in a water bath. Comparison of the results obtained on the ore occurrence with the materials on the ore composition of the closest deposit located in 30 km demonstrates that on the one hand they are similar and uniform, and on the other hand they feature some differences. Their common parameters include a rather high degree of sulfide content of ores and similar chemical and mineral composition with the predominance of arsenopyrite, an increased role of bismuth as well as the predominance of fine gold and its similar morphological characteristics. This fact allows to consider the ore occurrence under investigation as an integral part of a single ore system of the closest deposit.

Keywords: Eastern Transbaikalia, Balei ore region, epithermal and mesothermal deposits, ore occurrence, chemical and mineral composition, fineness of gold

For citation: Nikanyuk T.S. Ore composition and native gold characteristics of an ore occurrence in Eastern Transbaikalia. *Nauki o Zemle i nedropol'zovanie = Earth sciences and subsoil use.* 2023;46(1):36-50. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2023-46-1-36-50>.

Введение

Рассматриваемое в ходе проведенного исследования рудопроявление входит в состав Мунгинского рудного узла одного из месторождений Восточного Забайкалья, которое расположено на юго-восточном фланге Балейского рудного района (рис. 1), где известны золоторудные мезотермальные месторождения Сосновское, Майское, Средне-Голготайское и Казаковское, а также крупнейшее эпитеермальное месторождение региона Балейское [1–5].

Мунгинский рудный узел Балейского рудного района, включающий золоторудное месторождение и рудопроявления (рис. 1 и 2), расположен в нескольких десятках километров восточнее г. Балей. Эти объекты относятся к месторождениям золото-кварц-сульфидного типа [6–11]. В геологическом строении Мунгинского рудного узла (см. рис. 1 и 2) принимают участие палеозойские осадочные отложения, мезозойские вулканогенно-осадочные образования, интрузивные образования позднепалеозойского ундинского и среднепозднеюрского шахтаминского комплексов [12–15]. В его составе главным является одно из промышленных месторождений Восточного Забайкалья, образование которого свя-

зывается с процессами формирования позднеюрской кольцевой вулканоплутонической структуры [16–18]. На месторождении известны три рудоносные зоны: Западная, Широкая и Восточная, протяженность которых достигает 1 км при мощности от 0,2 до 11 м. Простираение зон субширотное, северо-западное или северо-восточное с крутым падением на юг, северо-запад или юго-восток. На западном фланге месторождения известна серия рудопроявлений (Рябокоть, Ново-Мунгинское и Глазковское), которые ранее были отнесены к Ново-Мунгинскому объекту (см. рис. 1) [19–21]. Одним из перспективных участков этого рудопроявления является жильная система (рис. 3), которая представляет собой протяженное до 200 м рудное тело арсенопирит-пирит-турмалин-кварцевого состава северо-восточного простираения с продуктивной частью около 160 м, локализованное в гранитах третьей фазы ундинского комплекса, рассеченных дайками позднемезозойских порфириров. Мощность рудного тела составляет 15 м, оно сопровождается ареалом метасоматитов серицит-кварцевого состава, ширина выхода которого варьирует от 2 до 25 м. По данным бурения промышленное оруденение прослежено на глубину до 100 м. В строении рудного



тела выделяются три морфологически различные части: юго-западный фланг в виде ствольной жилы с зоной прожилково-вкрапленной минерализации; центральная, самая продук-

тивная часть, представляющая собой систему субпараллельных жил линзовидной формы; апофизы от центральной жилы, формирующие линейную штокверкоподобную зону протяжен-

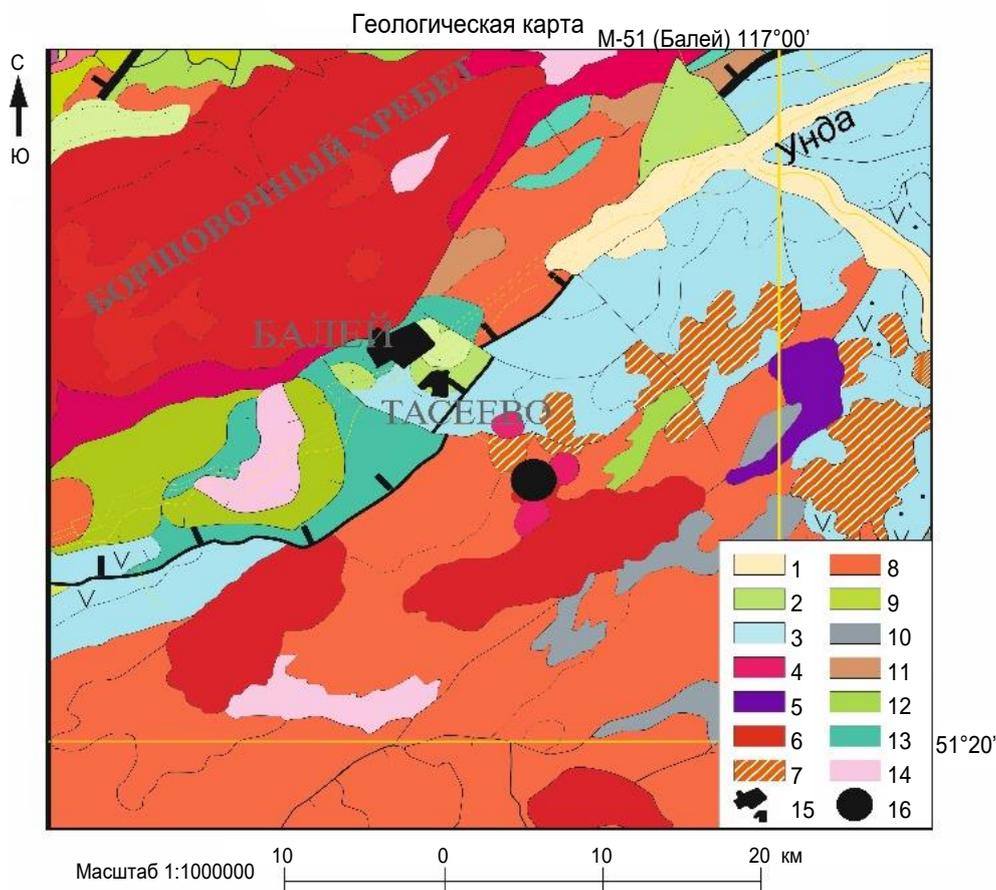


Рис. 1. Геологическая позиция рудопроявления в региональном масштабе Мунгинского рудного узла¹:
1–5: средне-позднеюрские отложения: 1 – ундино-даинский, нерчинский, шадаронский, приаргунский, мулинский вулканические комплексы, 2 – субвулканические образования шадаронской, приаргунской, мулинской серий, тела и дайки, 3 – шахтаминский комплекс монцодиорит-гранодиорит-гранитовый, 4 – борщовочный комплекс гранитовый, 5 – акатуйский комплекс монзонит-сиенитовый; 6 – отложения раннего карбона: ямкунская серия; 7 – отложения раннего девона: лохковский ярус, макаровская толща; 8 – отложения ранней перми: ундинский комплекс гранит-гранодиоритовый; 9, 10 – ранний протерозой: 9 – чонгульский комплекс габбровый, 10 – ишагинский комплекс метаморфический; 11 – средний палеозой: агинско-борщовочный комплекс динамометаморфический, зеленосланцевый подкомплекс, филлонитовый подкомплекс; 12 – ранний мел: тургинская свита; 13 – квартал, голоцен: аллювиальные отложения пойм; 14 – ранний протерозой: урульгинский комплекс метаморфический; 15 – контуры населенных пунктов; 16 – месторождение Верхне-Алиинское

Fig. 1. Geological position of the ore occurrence on a regional scale of the Munginsky ore cluster¹:
1–5: Middle-Late Jurassic deposits: 1 – Unda-Dainsky, Nerchinsky, Shadaron, Argun, Mulinsky volcanic complexes, 2 – subvolcanic formations of the Shadaron, Argun, Mulinsky body and dike series, 3 – Shakhtama monzodiorite-granodiorite-granite complex, 4 – Borchshovochnyi granite complex, 5 – Akatui monzonite-syenite complex; 6 – Early Carboniferous deposits: Yamkunskaya series; 7 – Early Devonian deposits: Lokhkovsky stage, Makarovskaya strata; 8 – Early Permian deposits: Unda granite-granodiorite complex; 9, 10 – Early Proterozoic: 9 – Chongulsky gabbro complex, 10 – Ishaginsky metamorphic complex; 11 – Middle Paleozoic: dynamo-metamorphic Aginsky-Borchshovochnyi complex, greenschist subcomplex, phyllonite subcomplex; 12 – Early Cretaceous: Turga formation; 13 – Quaternary, Holocene: alluvial deposits of floodplains; 14 – Early Proterozoic: Urulga metamorphic complex; 15 – contours of settlements; 16 – Verkhne-Aliinskoe deposit

¹ Составлено на основе Государственной геологической карты Российской Федерации масштаба 1:1000000 (третье поколение). Алдано-Забайкальская серия. Геологическая карта. Л. М-51.

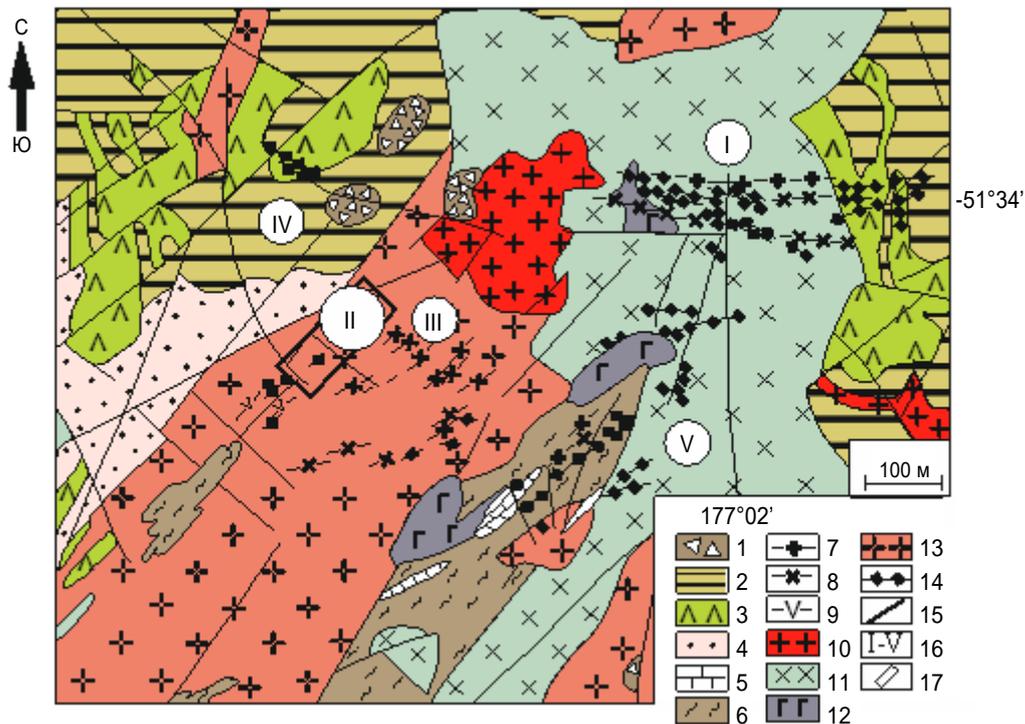


Рис. 2. Локальная позиция на западном фланге одного из месторождений Восточного Забайкалья:
 1 – (J_3) флюидно-эксплозивные брекчии; 2 – (J_{2-3}) вулканогенные отложения шадаронской серии: андезиты, андезито-базальты, андезито-дациты, трахидациты, брекчии, лавы, туфы, туфопесчаники, туфоконгломераты, гравелиты, дресвяники; 3 – (J_{2-3}) эффузивы шадаронской серии: андезито-базальты, андезиты, дациты; 4 – (J_2) осадочные отложения верхнегазимурской свиты: конгломераты, дресвяники, песчаники, алевролиты, туфы кислого состава; 5, 6 – (C_1) осадочные отложения верхнегазимурской свиты: 5 – мраморизованные известняки, 6 – кристаллические сланцы, амфиболиты, гнейсы; 7–9 – (J_{2-3}) шахтаминский комплекс: 7 – дайки гранит-порфиров, 8 – дайки диоритовых порфиров, 9 – дайки лампрофиров; 10 – гранит-порфиры; 11 – монзониты, сиениты; 12 – габбро, перидотиты; 13 – гранитоиды ундинского комплекса (C); 14 – золотоносные кварцево-сульфидные жилы; 15 – тектонические нарушения; 16 – Верхне-Алиинское месторождение (I) и рудопроявления Рябокоть (II), Ново-Мунгинское (III), Мунгинское (IV), Глазкинское (V); 17 – контур жилы Рябокоть

Fig. 2. Local position on the western flank of one of the Eastern Transbaikalian fields

1 – (J_3) fluid-explosive breccias; 2 – (J_{2-3}) volcanogenic deposits of the Shadaron series: andesites, andesite-basalts, andesite-dacites, trachydacites, breccias, lavas, tuffs, tuff sandstones, tuff-conglomerates, gravelite, gruss; 3 – (J_{2-3}) effusives of the Shadaron series: andesite-basalts, andesites, dacites; 4 – (J_2) sedimentary deposits of the Upper Gazimur formation: conglomerates, gruss, sandstones, siltstones, felsic tuffs; 5, 6 – (C_1) sedimentary deposits of the Upper Gazimur formation: 5 – marbled limestones, 6 – crystalline schists, amphibolites, gneisses; 7–9 – (J_{2-3}) Shakhtaminsky complex: 7 – granite-porphyry dikes, 8 – dioritic porphyrite dikes, 9 – lamprophyre dikes; 10 – granite-porphyry; 11 – monzonites, syenites; 12 – gabbro, peridotites; 13 – Unda complex granitoids (C); 14 – gold-bearing quartz-sulfide veins; 15 – tectonic disturbances; 16 – Verkhne-Aliinskoye deposit (I) and Ryabokot ore occurrence (II), Novo-Munginskoye ore occurrence (III), Munginskoye ore occurrence (IV), Glazkinskoye ore occurrence (V); 17 – contour of the Ryabokot vein

ностью до 150 м. Северо-восточный фланг представлен двумя субпараллельными жилами с невысокой продуктивностью.

Материалы и методы исследования

Материалом для данного исследования послужила малая технологическая проба весом 87 кг, отобранная из центральной части рудного тела в сечении 19 траншеи 50 (см. рис. 3) и представляющая собой кварц-турма-

лин-арсенопирит-пирротиную жилу, локализованную в турмалинизированных гранодиоритах, содержащих маломощные кварц-сульфидные прожилки. Содержание золота составляет 10,79 г/т, серебра – 59,24 г/т. Кроме того, был исследован ряд образцов, отобранных из других частей рудного тела.

Исследование состава руд и измененных пород проводилось методами атомно-эмиссионного спектрального количественного анализа (АО «Сосновгео») и рентгенофлуоресцентного

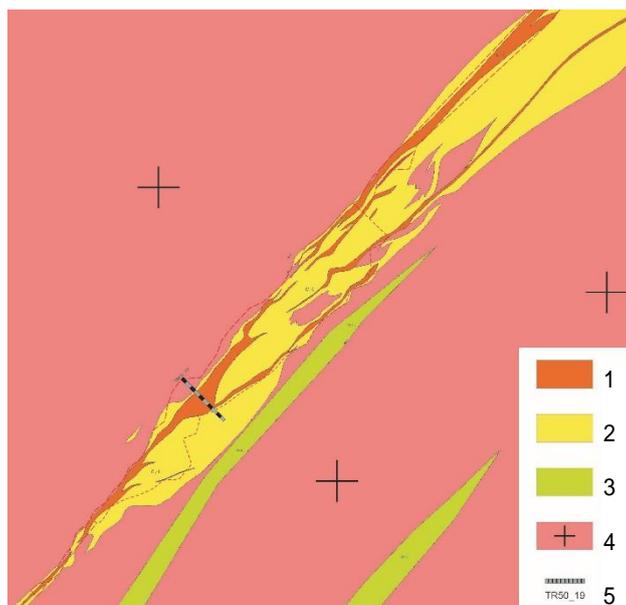


Рис. 3. Геологическая карта рудопроявления:

1 – кварц-турмалин сульфидные жилы и прожилки; 2 – метасоматиты серицит-кварцевого состава;
3 – дайки диоритовых порфиров; 4 – граниты ундинского комплекса; 5 – сечение траншеи TR50-19

Fig. 3. Geological map of ore occurrence:

1 – quartz-tourmaline sulfide veins and veinlets; 2 – sericite-quartz metasomatites;
3 – diorite porphyry dikes; 4 – granites of the Unda complex; 5 – section of the TR50-19 trench

анализа (АО «Иргиредмет», методика Испытательного аналитического центра МА ИАЦ-53-2004²), а также фазового атомно-абсорбционного и атомно-эмиссионного с индуктивно связанной плазмой ICP-AES анализов руд (АО «Иргиредмет», МА ИАЦ-70-2010³). Массовая доля общего и органического углерода определялась в Центральной пробирно-аналитической лаборатории АО «Покровский рудник» г. Благовещенска. Методика выполнения измерений велась согласно инструкции Всероссийского научно-исследовательского института минерального сырья им. Н.М. Федоровского НСАМ № 446-Х⁴, средством измерений служил анализатор серы и углерода LecoSC-114 DR. Доля карбонатного диоксида углерода устанавливалась по методике Всероссийского научно-исследовательского ин-

ститута минерального сырья им. Н.М. Федоровского «Титриметрическое определение диоксида углерода»⁵. Содержание золота приводилось по данным пробирной плавки, серебра – по данным атомно-абсорбционного анализа (АО «Иргиредмет», МА ИАЦ-44/01.00057/2012⁶).

Петрографические и минераграфические исследования проводились на оптическом микроскопе Olympus BX-51. Минеральный состав пробы руды также оценивался по результатам рентгеноструктурного (дифрактометрического) метода⁷. Количественный минеральный состав изучался на дробленном материале исходной руды крупностью -2 мм с использованием данных микроскопических исследований прозрачных и полированных шлифов на микроскопе Nikon Eclipse LV 100 POL.

² МА ИАЦ-53-2004 (ФР.1.31.2014.18483) КХА. Методика измерений массовых долей элементов: Na, Mg, Al, Si, P, S, Ca, K, Ti, Mn, Fe, Cu, Zn, As, Pb, Sb, Ni, Cr, Co, Cd, Sn, Mo, Nb, Ta, Zr, Y, Sr, Rb, U, Th, Bi, Hg, W, V, Ba, La и Ce в пробах руд золотосодержащих и продуктов их переработки рентгенофлуоресцентным методом.

³ МА ИАЦ-70-2010 (ФР.1.31.2010.07431). Методика определения массовых долей элементов в рудах и продуктах их переработки атомно-эмиссионным методом с индуктивно связанной плазмой.

⁴ НСАМ 446-Х. Определение углерода органических соединений методом сжигания в токе кислорода: инструкция. М.: Изд-во ВИМС, 1997. 11 с.

⁵ Титриметрическое определение диоксида углерода: методика III категории. М.: Изд-во ВИМС, 1986. 7 с.

⁶ МА ИАЦ-44/01.00057/2012 (ФР.1.31.2014.18470). Методика измерений массовых долей серебра в пробах руд и продуктов их переработки атомно-абсорбционным методом.

⁷ Методы минералогических исследований: справочник / ред. А.И. Гинзбург. М.: Недр, 1985. 480 с.



Содержание гидроксидов железа определялось по разнице в весе после обработки пробы 10 %-м раствором щавелевой кислоты на водяной бане.

Описание форм нахождения рудных минералов и их ассоциаций в пробе руды проводилось на основании изучения гравикоцентриков, брикетных и полированных шлифов. Составы минералов изучались с помощью электронно-зондового микроанализа на приборах Camebax SX-50 (Аналитический центр Института геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН) и TesCan (АО «Иргиредмет»).

Результаты исследования

Химический состав руды. Из данных химического анализа (табл. 1) видно, что проба на 69,3 % состоит из оксида кремния. В пределах 1 % отмечается бор. Содержание редких и рассеянных элементов в пробе руды не превышает сотые и тысячные доли процента. Рудные компоненты представлены главным образом железом, мышьяком и серой. Содержание других цветных металлов не превышает сотых и тысячных долей процента.

Проба руды характеризует смешанный тип руд⁸, так как степень окисления, рассчитанная по железу, находится на уровне 51 %.

Основным полезным компонентом в пробе руды является золото, его содержание составляет 10,3 г/т. Серебро с содержанием

51,1 г/т относится к попутно извлекаемому компоненту.

Минеральный состав руд и метасоматитов. По данным петрографического и минералогического изучения руд и по результатам рентгеноструктурного анализа определено, что основными минералами, слагающими пробу руды, являются (в порядке убывания количества): кварц, скородит, турмалин, арсенипирит, слюда (мусковит, серицит) и пирит – 2 %, кроме того, присутствуют халькопирит, единичные зерна пирротина, галенита, минералов висмута, ковеллин и ряд гидроксидов железа. Результаты количественного минерального состава приведены с учетом данных химического и рентгеноструктурного анализов и отображены в табл. 2. По количеству сульфидов проба руды относится к умеренносульфидному типу руд⁹. Вторичные минералы представлены практически на 89 % скородитом и на 11 % гидроксидами железа.

Описание минералов. Исследование прозрачных шлифов показало, что порода состоит в основном из кварца, турмалина и слюды. Микротекстура неоднородная, пятнистая, прожилковая; микроструктура разнородная, лепидогранобластовая, нематолепидобластовая, гранобластовая (рис. 4).

Кварц в шлифе представлен агрегатами от мелких до средних размеров. Мелкие агрегаты с ровными границами по отношению к другим

Таблица 1. Химический состав пробы руды
Table 1. Chemical composition of the ore sample

Компонент	Массовая доля, %	Компонент	Массовая доля, %	Компонент	Массовая доля, %	Компонент	Массовая доля, %
SiO ₂	69,3	Fe _{сульф.}	3,5	B	1	Ba	0,008
Al ₂ O ₃	7,2	S _{общ.}	2,65	Bi	0,036	Sr	0,0068
TiO ₂	0,19	S _{окисл.}	< 0,2	Co	0,0027	Te	0,0013
CaO	0,14	S _{сульф.}	2,63	Cr	0,0161	V	0,0013
K ₂ O	1,19	As _{общ.}	6,66	Hg	< 0,0005	W	< 0,0005
Na ₂ O	0,25	As _{окисл.}	3,52	La	0,0031	Y	0,0005
MgO	0,48	As _{сульф.}	3,14	Mo	< 0,0002	Zr	0,0038
MnO	0,026	Cu	0,046	Ni	0,0018	CO _{2карб.}	0,2
P ₂ O ₅	0,082	Pb	0,038	Sc	< 0,0003	C _{орг.}	< 0,05
Fe _{общ.}	8,21	Sb	0,013	Se	< 0,0005	Ag	51,1 г/т
Fe _{окисл.}	4,71	Zn	0,0058	Sn	0,0038	Au	10,3 г/т

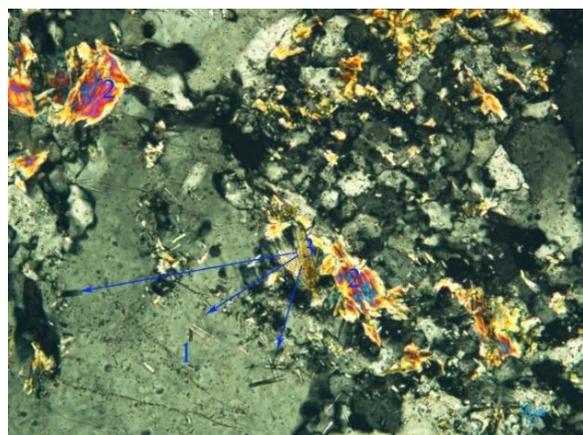
⁸ Лодейщиков В.В., Васильева А.В. Методические рекомендации по типизации руд, технологическому опробованию и картированию коренных месторождений золота. Иркутск: Изд-во ОАО «Иргиредмет», 1997. 164 с.

⁹ Там же.

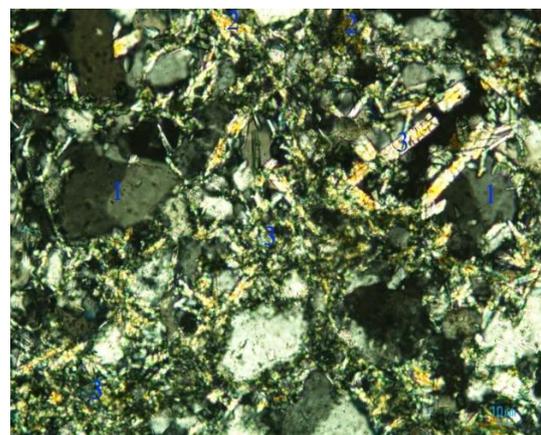


Таблица 2. Минеральный состав пробы руды
Table 2. Mineral composition of the ore sample

Минерал, группа минералов	Массовая доля, %
Жильные и метасоматические:	78,1
Кварц	63,6
Турмалин (шерл)	8
Слюда (мусковит, серицит)	6
Карбонаты	0,5
Рудные сульфиды:	9,3
Арсенопирит	6,8
Пирит (марказит)	2,4
Пирротин, галенит, висмутин, галеновисмутин	Единичные зерна
Халькопирит, ковеллин	0,1
Минералы зоны окисления:	12,6
Скородит	11
Гидроксиды железа (лимонит, гетит, гидрогетит)	1,6
Акцессорные (апатит, рутил, хлорит)	Редкие и единичные знаки
Итого	100



а



b

Рис. 4. Метасоматиты пятнистой (а), неоднородной (b) микротекстуры, состоящие из выделений разнозернистого кварца (1), слюды (2) и турмалина (3)
Структура: разнозернистая, лепидогранобластовая. Прозрачные шлифы. Поляризатор X
Fig. 4. Metasomatites of spotted (a), heterogeneous (b) microtexture consisting of segregations of inequigranular quartz (1), mica (2), and tourmaline (3)
Structure: inequigranular, lepidogranoblastic. Clear sections. Polarizer X

минералам при скрещенных поляризаторах образуют мозаику из зерен с равномерным прямым погасанием. Средние по размеру агрегаты – с неровными раковистыми границами, с облачным и облачно-волнистым, местами блочным погасанием. На отдельных участках наблюдается мелкозернистый кварц в межзерновом пространстве агрегатов кварца большего размера и рудных минералов. Размер зерен – от 0,07 до 1,3 мм.

Турмалин представлен полиморфной разновидностью шерла в ассоциации с силикатами в виде призматических и игольчатых

выделений, которые отмечаются отдельными зернами или их мономинеральным агрегатом, а также в тесном срастании с кварцем и слюдой. Размер зерен турмалина изменяется от 0,05 до 0,5 мм с преобладанием размера от 0,01 до 0,1 мм по длинной оси. Мощность скоплений – до 1 мм.

Слюда представлены чешуйками мусковита и серицита, которые заполняют интерстиционное пространство и отмечаются в ассоциации с турмалином. Размерность чешуек – от десятых до сотых долей миллиметра. По данным петрографического анализа,



это в основном серицит (75 %), в меньшей степени мусковит (25 %).

При изучении полированных шлифов установлено, что руды жилы Рябоконь представляют собой существенно сульфидный агрегат с небольшими (25 %) участками жильного кварц-турмалинового материала. Иногда это существенно кварц-турмалиновый агрегат, в нем присутствуют просечки (1–2 мм) и изометричные скопления сульфидов (3 %), а также небольшие (до 5 мм) изометричные пластинки, тонкоигольчатые выделения сульфидов (3–5 %), цементирующие кварцевые обломки. Сульфидная минерализация состоит в основном из агрегата арсенопирита в парагенных сростаниях с кварцем, агрегатов позднего пирита и единичных зерен халькопирита. Последние два сульфида явно секут и цементируют арсенопирит и кварц. Арсенопирита количественно больше, чем пирита, но местами это интерстициальный агрегат пирита с халькопиритом в соседстве с идиоморфными гнездами и вкрапленностью арсенопирита. Арсенопирит отмечается в виде ромбических, шестоватых выделений и мелких агрегатов сферолитоподобных звездочек. Зафиксированы просечки халькопирита, секущие силикаты и корродирующие арсенопирит. Иногда халькопирит встречается в виде микровключений в центре арсенопирита. Нередки находки интерстициально-прожилкового пирита в брекчиевидном агрегате с переходами

от микрокристаллического марказитоподобного к хорошо раскристаллизованному (в крупных выделениях) к центральной их части. Марказит отмечается в виде ажурных цепочек и мохнатых выделений. В позднем пирите зафиксированы микровключения пирротина. Данные микроскопического исследования позволяют выделить две ассоциации минералов: раннюю арсенопирит-кварцевую и позднюю пирит-халькопирит-турмалиновую, причем в последней отмечены реликты раннего пирротина, затем марказит с переходом в пирит. Ко всему прочему, прожилки пирита в арсенопирите несут в себе реликты колломорфности.

Далее рассмотрим характеристику основных выявленных минералов руд. Арсенопирит представлен в основном ромбическими, реже призматическими зернами, их обломками и тонкозернистыми агрегатами (рис. 5). Размер зерен изменяется от 0,5 до 0,01 мм с преобладанием зерен в интервале от 0,25 и 0,07 мм. Микроскопические исследования показали, что арсенопирит интенсивно катаклазирован и в нем в виде прожилков, гнезд развиваются более поздние гипидиоморфнозернистый пирит, халькопирит и микровключения галеновистмутина (рис. 6). Зерна арсенопирита в различной степени замещены скородитом. Степень окисления зерен сульфида мышьяка разная: от тонких прерывистых корковых покрытий до практически полных псевдоморфоз.



a



b

Рис. 5. Арсенопирит:

- a – выборка фракции сульфидов арсенопирита из гравикоцентра (увеличение 22^x);
b – форма и характер вкрапленной минерализации арсенопирита
Полированный шлиф. Поляризатор ||

Fig. 5. Arsenopyrite:

- a – sampling of the arsenopyrite sulfide fraction from the gravity concentrate (22^x magnification);
b – shape and nature of disseminated arsenopyrite mineralization
Polished thin section. Polarizer ||

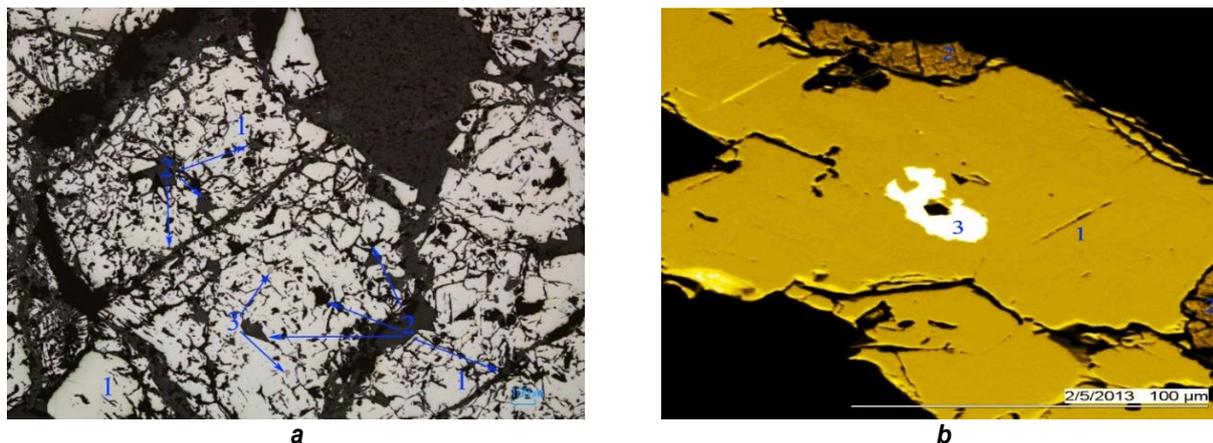


Рис. 6. Морфология и ассоциация арсенопирита:

*a – крупные катаклазированные зерна арсенопирита (1) замещаются по краям зерен и микротрещинам скородитом (2), включения халькопирита (3) в арсенопирите
Полированный шлиф. Поляризатор ||*

*b – арсенопирит (1) в сростках с халькопиритом (2) и с микровключением галеновисмутина (3), в халькопирите и галеновисмутине отмечается примесь серебра
Микроанализатор Camebax SX-50. Снимок в обратнорассеянных электронах. Брикетный шлиф*

Fig. 6. Arsenopyrite morphology and association:

*a – large cataclastic arsenopyrite grains (1) replaced by scorodite along the grain edges and microcracks (2), chalcopyrite inclusions (3) in arsenopyrite
Polished section. Polarizer ||*

*b – arsenopyrite (1) aggregated with chalcopyrite (2) and with microinclusions of galenobismuthine (3), there is an admixture of silver in chalcopyrite and galenobismuthine
Camebax SX-50 microanalyzer. Snapshot is made in back-scattered electrons. Briquette thin section*

Выделения пирита (марказита) в дробленной руде представляют собой кристаллики кубической и удлиненной формы, их обломки и тонкозернистые агрегаты. Размер зерен колеблется от сотых долей миллиметра до 0,5 мм, основная масса зерен – от 0,07 до 0,25 мм. При исследовании полированных шлифов пирит наблюдается в виде неравномерной вкра-

пленности, гнезд и прожилков в арсенопирите с ситовидной микроструктурой. Мощность выделений – от первых миллиметров до 20 мм. Следует отметить, что в пирите отмечаются включения марказита и редкие мелкие включения халькопирита (рис. 7). Сульфид железа местами катаклазирован и замещен гидроксидами железа.

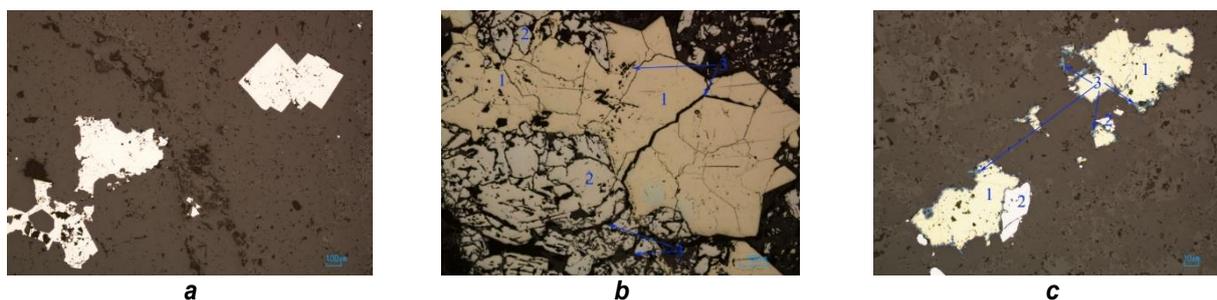


Рис. 7. Морфология и ассоциация пирита:

*a – гипидиоморфные выделения пирита с ситовидной микротекстурой; b – пирит (1) в тесном сростании с арсенопиритом (2), по микротрещинам развиваются скородит и гидроксиды железа (3);
c – ксеноморфные выделения халькопирита (1) в тесном сростании с пиритом (2), по краям зерен халькопирит частично замещается ковеллином (3)
Полированные шлифы. Поляризатор ||*

Fig. 7. Pyrite morphology and association

*a – hypidiomorphic segregations of pyrite with a sieve microtexture; b – pyrite (1) closely aggregated with arsenopyrite (2), scorodite and iron hydroxides develop along microcracks (3); c – xenomorphic segregations of chalcopyrite (1) closely aggregated with pyrite (2), chalcopyrite partially replaced by covelline at the grain edges (3)
Polished sections. Polarizer ||*



Халькопирит при микроскопическом исследовании фиксируется в виде зерен неправильной формы размером до 0,07 мм. Отмечаются микропрожилки халькопирита мощностью до 0,1 мм. Также халькопирит отмечается в сростках с арсенопиритом и пиритом (см. рис. 6). Более мелкие зерна сульфида меди наблюдаются в виде вкрапленности в сульфидах мышьяка и железа. По периферии зерен халькопирита развивается ковеллин. По данным микроанализа, в халькопирите отмечается примесь серебра.

Скородит в ассоциации с гидроксидами железа покрывает значительную поверхность зерен арсенопирита с образованием структур замещения, местами до полных псевдоморфоз. В агрегате из скородита и гидроксидов железа, по данным микроанализа, отмечается каплевидное вкрапление золота размером 10 микрон (рис. 8). Гидроксиды железа наблюдаются в тесной ассоциации со скородитом в виде сплошных масс, охр и псевдоморфоз по сульфидам.

По результатам атомно-абсорбционного анализа, содержание золота во фракции суль-

фидов (представленных, по данным рентгеноструктурного анализа, на 95 % арсенопиритом и на 5 % пиритом) составляет $(42,9 \pm 3,1)$ г/т. Микрочастицы самородного золота установлены в виде включений в арсенопирите, пирите и в качестве реликтов в лимоните и скородите (см. рис. 8).

Гранулометрию золота в исходной руде изучали на материале продуктов гравитации, полученных при стадийном понижении крупности помола руды. Из табл. 3 видно, что основная масса золотин – 69,8 % – представлена мелкими, тонкими и тонкодисперсными частицами золота (класса крупности -0,07 мм)¹⁰. На долю крупного золота (класс крупности +0,07 мм) приходится 30,2 %, из них около 23,4 % от общего количество благородного металла приходится на класс крупности -0,25 +0,1 мм.

Пробность золота, по данным атомно-абсорбционного анализа, в пробе руды колеблется в диапазоне от 759 до 770 ‰ [22, 23]. По классификации Н.В. Петровской, золото соответствует относительно низкопробному классу.

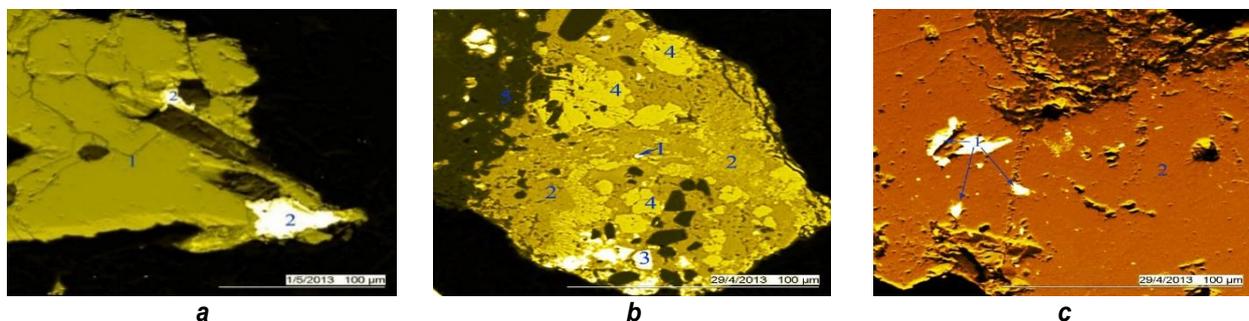


Рис. 8. Микрочастицы самородного золота:

a – в зерне арсенопирита (1) выделения золота (2) размером до 40 мкм; b – золото (1) в агрегате, состоящем из скородита (2), арсенопирита (3), пирита (4) и гидроксидов железа (5); c – вкрапления золота размером от 1 до 20 мкм (1) в зерне пирита (2)

Микроанализатор Camebax SX-50. Снимок в обратнорассеянных электронах. Брикетные шлифы

Fig. 8. Native gold microparticles:

a – gold precipitates (2) in an arsenopyrite grain (1) up to 40 μm in size;

b – gold (1) in an aggregate consisting of scorodite (2), arsenopyrite (3), pyrite (4) and iron hydroxides (5);

c – inclusions of gold from 1 to 20 μm in size (1) in a pyrite grain (2)

Camebax SX-50 microanalyzer. Snapshot in reverse order-scattered electrons. Briquette thin sections

Таблица 3. Гранулометрия золота в исходной руде

Table 3. Granulometry of gold in the head ore

Показатель	Класс крупности, мм						Всего
	-1,0+0,5	-0,5+0,25	-0,25+0,15	-0,15+0,1	-0,10+0,07	-0,07	
Массовая доля золота, %	1,4	2,9	13,8	9,6	2,5	69,8	100

¹⁰ Зеленов В.И. Методика исследования золото- и серебросодержащих руд. М.: Недрa, 1989. 302 с.



Характеристика самородного золота приводится на основании его изучения в гравитационных концентратах. Цвет золотин – светло-желтый, желтый, грязно-желтый за счет сростков с сульфидами. Наиболее характерные формы частиц золота: неправильная компактная, комковатая, крючковатая, уплощенная, с неровными зазубренными краями, нередко с отростками различной длины, изометричная, реже пластинчатая с пережимами и короткими отростками [24, 25]. Форма и характер поверхности золота проиллюстрированы на рис. 9.

О минеральных ассоциациях руд. Изучение минерального состава руд позволяет нам выделить в их составе две ассоциации минералов: раннюю – арсенопирит-кварцевую и позднюю – пирит-халькопирит-турмалиновую золотоносную, формирование которой началось с отложения турмалина и пирротина, замещаемого марказитом, переходящим в пирит. Для последней ассоциации характерно также наличие единичных зерен галенита и

минералов висмута, которые можно предположительно объединить с самородным золотом (исходя из их позиции как микровключений) в самостоятельную ассоциацию.

Обсуждение полученных результатов

Сравнивая полученные нами результаты по рудопроявлению с материалами по составу руд месторождения [10, 11], можно отметить, с одной стороны, их близость и однотипность, а с другой – некоторые отличия (табл. 4).

Общими параметрами являются довольно высокая степень сульфидности руд и их сходный химический и минеральный состав с преобладанием арсенопирита и повышенной ролью висмута, преобладание мелкого золота и его сходные морфологические характеристики. Это позволяет рассматривать проявление как составную часть единой рудной системы месторождения. Небольшие различия в составе руд (меньшая пробность и крупность

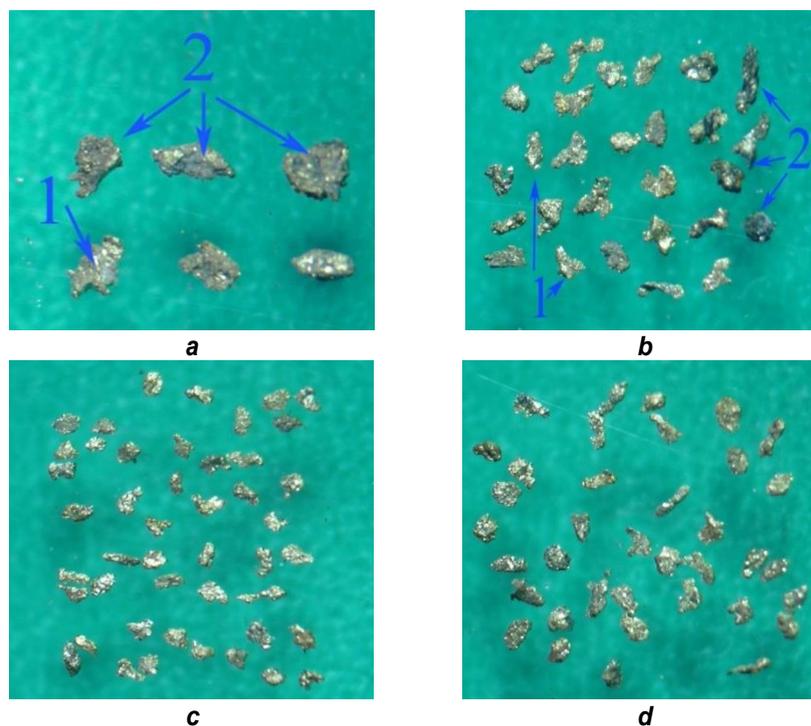


Рис. 9. Морфология и характер поверхности золотин по классам крупности:
а – класс крупности $-1+0,5$ мм (увеличение $40\times$); б – класс крупности $-0,5+0,25$ мм (увеличение $60\times$);
с – класс крупности $-0,25+0,16$ мм (увеличение $70\times$); д – класс крупности $-0,16+0,1$ мм (увеличение $70\times$)
Золотины в ассоциации с кварцем (1), с сульфидами (2). Гравиоконцентрат

Fig. 9. Morphology and nature of the gold grain surface by size classes:
а – size class $-1+0.5$ mm ($40\times$ magnification); б – size class $-0.5+0.25$ mm ($60\times$ magnification);
с – size class $-0.25+0.16$ mm ($70\times$ magnification); д – size class $-0.16+0.1$ mm ($70\times$ magnification)
Gold grains in association with quartz (1), with sulfides (2). Graviokoncentrate



Таблица 4. Сравнение минерального состава руд рудопроявления и одного из золоторудных месторождений Восточного Забайкалья по результатам изучения технологических проб (по данным источников [9–11])

Table 4. Comparison of ore mineral composition of the ore occurrence and one of East Transbaikalian gold deposits based on the study results of technological samples (according to the sources [9–11])

Рудопроявление (одна проба)	Месторождение (три пробы)
Доля рудных минералов, включая окисленные фазы, %	
21,9	8,8–16,1
Рудная минералогия	
Арсенопирит – 6,8 % Пирит – 2,4 % Халькопирит – 0,1 % Пирротин – единичные знаки Галенит – единичные знаки Минералы висмута – единичные знаки	Арсенопирит – до 6,2 % Пирит – до 5,3 % Пирротин – до 2,6 % Халькопирит – до 1,3 % Сфалерит – до 0,1 % Галенит – до 0,6 %
Пробность золота	
759–770	878–854
Размерность золота	
Менее 0,074 мм – 69,8 %	Менее 0,074 мм – 50,6 %
Морфология золота	
В основном неправильная компактная, комковатая, крючковатая, уплощенная, с неровными зубчатными краями, нередко с отростками различной длины, изометричная, реже пластинчатая с пережимами и короткими отростками	В основном удлиненно-неправильная, уплощенная, пластинчатая с пережимами и короткими отростками, реже комковидно-неправильная, комковатая и ажурной формы
Содержание, %	
Кремнезем – 69,3 Сера – 2,65 Мышьяк – 6,6 Бор – 1 Висмут – 0,036	Кремнезем – 53,12–63 Сера общая – 0,18–5,14 Мышьяк – 0,15–2,8 Бор – 0,02–0,08 Висмут – 0,009–0,05

самородного золота, большая роль турмалина и бора в рудах рудопроявления) предполагают наличие элементов зональности оруденения в масштабе рудного поля, которая намечается, по данным источников [1, 2] и нашим наблюдениям [4], на самом месторождении.

В технологическом плане важным результатом исследования является то, что индикатором окисленности руд выступает форма нахождения мышьяка, а не серы. Равные количества окисленных и первичных сульфидных руд необходимо учитывать при раз-

работке технологической цепочки их переработки.

Заключение

По granulometрии золота можно сделать следующие выводы: золото образовывалось в схожих условия с кварцем и сульфидами (так как часть золота находится с кварцем и сульфидами в ассоциации). По размерности золота на месторождении и рудопроявлении можно предположить, что основная его масса была образована на средних глубинах.

Список источников

1. Абрамов Б.Н. Условия образования и петрогеохимические особенности флюидно-эксплозивных образований золоторудных месторождений Восточного Забайкалья // Литосфера. 2015. № 1. С. 86–97.
2. Абрамов Б.Н. Верхне-Алиинское золоторудное месторождение: условия формирования, петрогеохимические особенности пород и руд (Мунгинский рудный узел, Восточное Забайкалье) // Литосфера. 2016. № 4. С. 92–101.

3. Балейское рудное поле (геология, минералогия, вопросы генезиса) / ред. Н.П. Лаверов, В.А. Нарсеев, Н.В. Петровская, Ю.Г. Сафонов. М.: Изд-во ЦНИГРИ, 1984. 271 с.
4. Горячев Н.А., Никанюк Т.С., Будяк А.Е. О рудной минерализации Верхне-Алиинского месторождения (Забайкальский край, Россия) // Современные направления развития геохимии: материалы Всерос. конф. с уч. зарубежн. ученых, посвящ. 65-летию Института



геохимии им. А.П. Виноградова и 105-летию со дня рожд. акад. Л.В. Таусона (г. Иркутск, 21–25 ноября 2022 г.). Иркутск: Изд-во ИГ СО РАН, 2022. Т. 1. С. 147–148.

5. Юргенсон Г.А., Грабеклис Р.В. Балеиское рудное поле // Месторождения Забайкалья. М.: Геоинформмарк, 1995. Т. 1. Кн. 2. С. 19–32.

6. Виноградов А.П. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры // Геохимия. 1962. № 7. С. 555–571.

7. Гладков В.Г., Корольков А.Т., Летунов С.П., Воросов А.Д. Морфологические особенности штокерного оруденения балейского типа (материалы детального картирования карьеров в масштабе 1:1000) // Условия образования и размещения золоторудных месторождений Сибири: сб. тез. Новосибирск, 1975. С. 129.

8. Прокофьев В.Ю. Геохимические особенности рудообразующих флюидов гидротермальных месторождений золота различных генетических типов (по данным исследования флюидных включений). Новосибирск: Наука, 2000. 190 с.

9. Мальцева Г.Д., Никанюк Т.С. Условия формирования оруденения некоторых гидротермальных месторождений золота // Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. 2011. № 2. С. 25–30.

10. Никанюк Т.С., Мальцева Г.Д. Вещественный состав руд Верхне-Алиинского месторождения // Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. 2008. № 6. С. 50–59.

11. Никанюк Т.С., Мальцева Г.Д. Вещественный состав – основа для технологической оценки золотосодержащих руд Верхне-Алиинского месторождения // Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. 2009. № 1. С. 69–76.

12. Симонов Ю.И., Максимов С.С. Геодинамическая модель вулканоплутонических структур Забайкалья и принципы крупномасштабного прогнозирования золота // Структуры рудных полей вулканических поясов: материалы Всесоюз. совещ. Владивосток, 1985. Вып. 1. С. 16–18.

13. Четкин В.С., Трубочев А.И. Минеральные ресурсы Забайкальского края. Чита: Изд-во РНИУМЛ ЗабГУ, 2013. 231 с.

14. Трубочев А.И., Секисов А.Г., Лавров А.Ю. Ассоциации минералов и элементов в рудах и продуктах обогащения восточнозabayкальских месторождений

цветных и благородных металлов // Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. 2016. № 3. С. 44–56. <https://doi.org/10.21285/0130-108X-2016-56-3-44-56>.

15. Андреева М.Г. Особенности состава и размещения минеральных ассоциаций и элементы зональности в пределах Балейского рудного поля и его периферии // Труды ЦНИГРИ. 1971. Вып. 96. Ч. 1. С. 32–45.

16. Бородаевская М.Б. Некоторые особенности петрогенезиса формации малых интрузий послевернеюрского возраста в одном из районов Восточного Забайкалья // Известия Академии наук СССР. Серия Геологическая. 1956. № 6. С. 70–91.

17. Криволуцкая Н.А. Парагенетические ассоциации минералов и условия образования руд Ключевского месторождения золота (Восточное Забайкалье, Россия) // Геология рудных месторождений. 1997. № 4. С. 344–361.

18. Плюсин Г.С., Спиридонов А.М., Литвинцев К.А., Кочеткова Л.Ф., Гнилуша В.А., Кузнецова С.В. Rb-Sr возраст щелочных гранитов Карийского рудного узла (Восточное Забайкалье) // Доклады Академии наук СССР. 1989. Т. 307. № 4. С. 967–971.

19. Спиридонов А.М., Зорина Л.Д., Китаев Н.А. Золотоносные рудно-магматические системы Забайкалья. Новосибирск: Гео, 2006. 291 с.

20. Спиридонов А.М., Зорина Л.Д., Летунов С.П., Прокофьев В.Ю. Флюидный режим процесса рудообразования Балейской золоторудно-магматической системы (Восточное Забайкалье) // Геология и геофизика. 2010. Т. 51. № 10. С. 1413–1422.

21. Комаров П.В., Томсон И.Н. Возрастная последовательность оруденения и плутоногенные минерогенетические циклы на примере Восточного Забайкалья // Отечественная геология. 1995. № 10. С. 26–36.

22. Петровская Н.В. Самородное золото (общая характеристика, типоморфизм, вопросы генезиса). М.: Наука, 1973. 348 с.

23. Петровская Н.В., Сафонов Ю.Г., Шер С.Д. Формации золоторудных месторождений // Рудные формации эндогенных месторождений. М.: Наука, 1976. Т. 2. С. 3–110.

24. Петровская Н.В. Характер золотоносных минеральных ассоциаций и формации золотых руд СССР // Генетические проблемы руд: сб. докл. М.: Госгеолтехиздат, 1960. С. 145–159.

25. Николаева Л.А., Яблокова С.В. Типоморфные особенности самородного золота и их использование при геологоразведочных работах // Руды и металлы. 2007. № 6. С. 41–57.

References

1. Abramov B.N. Forming conditions and petrogeochemical particularities of fluid-explosive productions from gold deposits of Eastern Transbaikalia. *Litosfera = Lithosphere (Russia)*. 2015;(1):86-97. (In Russ.).

2. Abramov B.N. Verkhne-Aliinsky gold deposit: Conditions of formation, petrogeochemical features of rocks and ores (Munginsk ore cluster, Eastern Transbaikalia).

Litosfera = Lithosphere (Russia). 2016;(4):92-101. (In Russ.).

3. Laverov N.P., Narseev V.A., Petrovskaya N.V., Safonov Yu.G. Baleiskoe ore field (geology, mineralogy, genesis issues). Moscow: Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals; 1984. 271 p. (In Russ.).

4. Goryachev N.A., Nikanyuk T.S., Budyak A.E. On ore



mineralization of the Verkhne-Aliinsky deposit (Transbaikal, Russia). In: *Sovremennyye napravleniya razvitiya geokhimii: materialy Vseros. konf. s uch. zarubezhn. uchenykh, posvyashch. 65-letiyu Instituta geokhimii im. A.P. Vinogradova i 105-letiyu so dnya rozhd. akad. L.V. Tausona = Modern development trends in geochemistry: materials of All-Russian conference with the participation of foreign scientists dedicated to the 65th anniversary of the A.P. Vinogradov Institute of Geochemistry and the 105th birth anniversary of the Academician L.V. Tauson*. 21–25 November 2022, Irkutsk. Irkutsk: V.B. Sochava Institute of Geography SB RAS; 2022, vol. 1, p. 147–148. (In Russ.).

5. Yurgenson G.A., Grabeklis R.V. Baleiskoe ore field. In: *Mestorozhdeniya Zabaikal'ya = Transbaikal deposits*. Moscow: Geoinformmark; 1995, vol. 1, book. 2, p. 19–32. (In Russ.).

6. Vinogradov A.P. The average content of chemical elements in the main types of igneous rocks of the earth's crust. *Geokhimiya*. 1962;7:555-571. (In Russ.).

7. Gladkov V.G., Korol'kov A.T., Letunov S.P., Vorosov A.D. Morphological features of stockwork mineralization of the Baley type (materials of the detailed open-cast mapping on a scale of 1:1000). In: *Usloviya obrazovaniya i razmeshcheniya zolotorudnykh mestorozhdenii Sibiri = Conditions of gold deposit formation and location in Siberia*. Novosibirsk; 1975, p. 129. (In Russ.).

8. Prokof'ev V.Yu. *Geochemical features of ore-forming fluids of hydrothermal gold deposits of various genetic types (according to the study of fluid inclusions)*. Novosibirsk: Nauka; 2000. 190 p. (In Russ.).

9. Maltzeva G.D., Nikanuk T.S. Conditions of ore formation of some hydrothermal gold deposits. *Izvestiya Sibirskogo otdeleniya Sektzii nauk o Zemle Rossiiskoi akademii estestvennykh nauk. Geologiya, poiski i razvedka rudnykh mestorozhdenii = Proceedings of the Siberian Department of the Section of Earth Sciences, Russian Academy of Natural Sciences. Geology, Prospecting and Exploration of Ore Deposits*. 2011;2:25-30. (In Russ.).

10. Nikanuk T.S., Maltzeva G.D. Ore composition of the Verkhne-Aliinsk gold ore deposit. *Izvestiya Sibirskogo otdeleniya Sektzii nauk o Zemle Rossiiskoi akademii estestvennykh nauk. Geologiya, poiski i razvedka rudnykh mestorozhdenii = Proceedings of the Siberian Department of the Section of Earth Sciences, Russian Academy of Natural Sciences. Geology, Prospecting and Exploration of Ore Deposits*. 2008;6:50-59. (In Russ.).

11. Nikanjuk T.S., Mal'tzeva G.D. Substance composition as the basis for technological estimation of gold-bearing ores of Higher-Aliinsk gold ore deposit. *Izvestiya Sibirskogo otdeleniya Sektzii nauk o Zemle Rossiiskoi akademii estestvennykh nauk. Geologiya, poiski i razvedka rudnykh mestorozhdenii = Proceedings of the Siberian Department of the Section of Earth Sciences, Russian Academy of Natural Sciences. Geology, Prospecting and Exploration of Ore Deposits*. 2009;1:69-76. (In Russ.).

12. Simonov Yu.I., Maksimov S.S. Geodynamic model of volcano-plutonic structures of Transbaikalia and principles of large-scale gold forecasting. In: *Struktury rudnykh polei vulkanicheskikh pojasov: materialy Vsesoyuzn. Soveshch. = Structures of ore fields of volcanic belts:*

Materials of the All-Union meeting. Vladivostok; 1985, iss. 1, p. 16–18. (In Russ.).

13. Chechetkin V.S., Trubachev A.I. *Mineral resources of Transbaikalia*. Chita: Transbaikal State University; 2013. 231 p. (In Russ.).

14. Trubachev A.I., Sekisov A.G., Lavrov A.Yu. Associations of minerals and elements in ores and dressing products of east Baikal base and precious metal deposits. *Izvestiya Sibirskogo otdeleniya Sektzii nauk o Zemle Rossiiskoi akademii estestvennykh nauk. Geologiya, poiski i razvedka rudnykh mestorozhdenii = Proceedings of the Siberian Department of the Section of Earth Sciences, Russian Academy of Natural Sciences. Geology, Prospecting and Exploration of Ore Deposits*. 2016;3:44-56. <https://doi.org/10.21285/0130-108X-2016-56-3-44-56>.

15. Andreeva M.G. Composition and distribution features of mineral associations and zoning elements within the Baleiskoe ore field and its periphery. *Trudy TsNIGRI*. 1971;96(1):32-45. (In Russ.).

16. Borodaevskaya M.B. Some features of small intrusion formation petrogenesis of post-Upper Jurassic age in one of the regions of Eastern Transbaikalia. *Izvestiya Akademii nauk SSSR. Seriya Geologicheskaya*. 1956;6:70-91. (In Russ.).

17. Krivolutskaya N.A. Paragenetic associations of minerals and ore formation conditions at the Klyuchevskoye gold deposit (Eastern Transbaikalia, Russia). *Geologiya rudnykh mestorozhdenii*. 1997;4:344-361. (In Russ.).

18. Plyusnin G.S., Spiridonov A.M., Litvintsev K.A., Kochetkova L.F., Gnilusha V.A., Kuznetsova C.B. Rb-Sr age of alkaline granites of the Kariisky ore cluster (Eastern Transbaikalia). *Doklady Akademii nauk SSSR*. 1989;307(4):967-971. (In Russ.).

19. Spiridonov A.M., Zorina L.D., Kitaev N.A. *Gold-bearing ore-magmatic systems of Transbaikalia*. Novosibirsk: Geo; 2006. 291 p. (In Russ.).

20. Spiridonov A.M., Zorina L.D., Letunov S.P., Prokof'ev V.Yu. The fluid regime of ore formation in the balei gold-bearing ore-magmatic system (eastern Transbaikalia). *Geologiya i geofizika = Russian Geology and Geophysics*. 2010;51(10):1413-1422. (In Russ.).

21. Komarov P.V., Tomson I.N. Mineralization age and plutogenic mineragenic cycles on the example of Eastern Transbaikalia. *Otechestvennaya Geologiya = National Geology*. 1995;10:26-36. (In Russ.).

22. Petrovskaya N.V. *Native gold (general characteristics, typomorphism, genesis issues)*. Moscow: Nauka; 1973. 348 p. (In Russ.).

23. Petrovskaya N.V., Safonov Yu.G., Sher S.D. Formations of gold deposits. In: *Rudnye formatsii endogennykh mestorozhdenii = Ore formations of endogenous deposits*. Moscow: Nauka; 1976, vol. 2, p. 3–110. (In Russ.).

24. Petrovskaya N.V. The nature of gold-bearing mineral associations and gold ore formations in the USSR. In: *Geneticheskie problemy rud = Genetic problems of ores*. Moscow: Gosgeoltekhizdat; 1960, p. 145–159. (In Russ.).

25. Nikolaeva L.A., Yablokova S.V. Typomorphic features of native gold and their use in geological exploration. *Rudy i metally = Ores and Metals*. 2007;6:41-57. (In Russ.).

**Информация об авторе / Information about the author****Никанюк Татьяна Сергеевна,**

младший научный сотрудник Отдела обогащения минерального сырья,
АО «ИРГИРЕДМЕТ»,

г. Иркутск, Россия,

аспирант,

Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН,

г. Иркутск, Россия,

✉ tnikanuk@irgiredmet.ru

Tatiana S. Nikanyuk,

Junior Researcher of the Department of Mineral Raw Material Concentration,
JSC IRGIREDMET,

Irkutsk, Russia,

Postgraduate Student,

Vinogradov Institute of Geochemistry SB RAS,

Irkutsk, Russia,

✉ tnikanuk@irgiredmet.ru

Вклад автора / Contribution of the author

Автор выполнил исследовательскую работу, на основании полученных результатов провел обобщение, подготовил рукопись к печати.

The author performed the research, made a generalization on the basis of the results obtained and prepared the copyright for publication.

Конфликт интересов / Conflict of interests

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

The author declares no conflicts of interests.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

The final manuscript has been read and approved by the author.

Информация о статье / Information about the article

Статья поступила в редакцию 22.09.2022; одобрена после рецензирования 10.03.2023; принята к публикации 16.03.2023.

The article was submitted 22.09.2022; approved after reviewing 10.03.2023; accepted for publication 16.03.2023.