

## ГЕОЛОГИЯ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Научная статья  
УДК 550.42 (571.55)  
doi: 10.17223/25421379/23/1

### ИТАКИНСКОЕ ЗОЛОТОРУДНОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ : ИЗОТОПНЫЙ СОСТАВ, ВЕРОЯТНЫЕ ИСТОЧНИКИ РУДНОГО ВЕЩЕСТВА (ВОСТОЧНОЕ ЗАБАЙКАЛЬЕ)



Баир Намжилович Абрамов<sup>1</sup>, Юрий Александрович Калинин<sup>2</sup>,  
Андрей Александрович Боровиков<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, Чита, Россия

<sup>2,3</sup> Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия

<sup>1</sup> b\_abramov@mail.ru

<sup>2</sup> kalinin@igm.nsc.ru

<sup>3</sup> borovik@igm.nsc.ru

**Аннотация.** По геохимическим особенностям мезозойские магматические образования Итакинского месторождения соответствуют высококалевой известково-щелочной серии и являются вероятными источниками оруденения. На месторождении выделяется три основных продуктивных парагенетических рудных ассоциации: кварц-арсенопиритовая, кварц-полиметаллическая и кварц-антимонитовая. Определено, что рассчитанный изотопный состав кислорода во флюиде в равновесии с кварцем продуктивного этапа (260–205 °С) меняется от 2,69 до 10,26 ‰. Большая часть значений попадает в интервал от +5,5 до +9,5 ‰, соответствующий флюиду магматической природы. Магматический источник оруденения также подтверждается изотопным составом серы сульфидов. Для флюида, равновесного с пиритом при 300 °С, расчетные значения  $\delta^{34}\text{S}_{\text{H}_2\text{S}}$  лежат интервале от +1,88 до +6,25 ‰, что соответствует сере флюидов орогенных месторождений золота ( $\delta^{34}\text{S}_{\text{H}_2} - -3,0 \text{ ‰} + 9,0 \text{ ‰}$ ). Значения  $\delta^{34}\text{S}$  флюида, равновесного с антимонитом при температуре 185 °С, варьируют от –0,5 до +1,5 ‰, что близко к изотопному составу мантийной серы. Руды кварц-антимонитовой ассоциации отличаются высокими значениями U/Th отношений (U/Th – 1,92–5,50), что может свидетельствовать о восстановительной обстановке их формирования. Руды кварц-полиметаллической и кварц-арсенопиритовой ассоциаций образованы в окислительно-нейтральной обстановке (U/Th – 0,34–0,97). Наибольшими содержаниями редкоземельных элементов характеризуются руды кварц-арсенопиритовой ассоциации ( $\Sigma\text{TR} - 127,4-184,9$ ), наименьшими – кварц-антимонитовой ( $\Sigma\text{TR} - 13,06-30,89$ ). Таким образом, рудные участки Гавриловский, Сурьянская Горка и Малеевский отличаются минеральным составом и условиями образования. Их формирование, вероятнее всего, происходило в зонах глубинных тектонических нарушений в ходе процессов позднемезозойской тектономагматической активизации.

**Ключевые слова:** Итакинское месторождение, золото, рудные ассоциации, изотопы кислорода и серы, индикаторные элементы

**Источник финансирования:** Работа выполнена по государственным заданиям ИПРЭК СО РАН и ИГМ СО РАН.

**Для цитирования:** Абрамов Б.Н., Калинин Ю.А., Боровиков А.А. Итакинское золоторудное месторождение: изотопный состав, вероятные источники рудного вещества (Восточное Забайкалье) // Геосферные исследования. 2022. № 2. С. 6–22. doi: 10.17223/25421379/23/1

Original article  
doi: 10.17223/25421379/23/1

### ITAKIN GOLD DEPOSIT: ISOTOPIC COMPOSITION. PROBABLE SOURCES OF ORE MATTER (EASTERN TRANSBAIKALIA)

Bair N. Abramov<sup>1</sup>, Yury A. Kalinin<sup>2</sup>, Andrey A. Borovikov<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institute of natural resources ecology and cryology SB RAS, Chita, Russia

<sup>2,3</sup> V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, Russia

<sup>1</sup> b\_abramov@mail.ru

<sup>2</sup> kalinin@igm.nsc.ru

<sup>3</sup> borovik@igm.nsc.ru

**Abstract.** It has been established that the Itakinskoye gold deposit is similar to many Mesozoic gold deposits of Eastern Transbaikalia according to the conditions of formation, mineral and geochemical features. The study of the elemental

composition of rocks and ores of the deposit was carried out in the analytical laboratories of the Geological Institute of the SB RAS (Ulan-Ude) and in the Center for Collective Use of Multi-Element and Isotope Studies of the SB RAS (Novosibirsk). The content of elements in rocks and ores was determined by the X-ray fluorescence method on the ARL Perform'X 4 spectrometer. The concentrations of rare earth elements were measured by the ICP-AES method. The determination of the oxygen isotopic composition was carried out using the MIR 10–30 installation of a laser heating system with a CO<sub>2</sub> laser with a power of 100 watts and a wavelength of 10.6 microns in the infrared region, in the presence of the BrF<sub>5</sub> reagent. The isotopic composition of sulfur in sulfides was analyzed in the center for collective use of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences on a Finnigan MAT Delta gas mass spectrometer in the double-inlet mode. The values of  $\delta^{34}\text{S}$  (Q) are given relative to the CDT standard.

There are three ore sections at the deposit – Gavrilovsky, Antimyanaya Gorka and Maleevsky. Three main paragenetic ore associations are noted at the deposit: quartz-arsenopyrite (productive), quartz-polymetallic (productive) and quartz-antimonite.

A distinctive feature of the Itakinsky deposit is the wide development of quartz-antimonite mineralization. It is determined that the calculated isotopic composition of oxygen in the fluid in equilibrium with quartz of the productive stage (260–205 °C) varies from 2.69 to 10.26 ‰. Most of the values fall within the range of + 5.5 ‰ – +9.5 ‰, corresponding to the fluid of magmatic nature. The magmatic source of mineralization is also confirmed by the isotopic composition of sulfur sulfides. Thus, for the fluid that deposited pyrite at 300 °C, the values of  $\delta^{34}\text{S}_{\text{H}_2\text{S}}$  were obtained, respectively +1,88 ‰ – + 6, 25 ‰, which correspond to the values of sulfides of orogenic gold deposits ( $\delta^{34}\text{S}_{\text{H}_2\text{S}}$  – -3.0 ‰ – +9.0 ‰). The fluid that deposited antimonite at a temperature of 185 °C is characterized by the values of  $\delta^{34}\text{S} = \delta^{34}\text{S} = -0.5...+1.5$  ‰, which indicates the proximity of the mantle source to sulfur. It is established that the ores of the quartz-antimonite association are characterized by high values of U / Th ratios (U/Th – 1.92–5.50), indicating the reducing environment of their formation. The ores of quartz-polymetallic and quartz-arsenopyrite associations were formed in an oxidation-neutral environment (U/Th-0.34–0.97). The distribution of rare earth elements (REE) shows that the gold-bearing sulfide-quartz ores of the deposit are formed from magmatic foci of different depths to varying degrees of differentiation. During the ore process, the amount of REE decreases from the early stages to the late stages. The spatial and temporal relationship of their mineralization with the rocks of the Amudjikan dike complex (J<sub>2-3</sub>), as well as the isotopic ratios of oxygen in ore-bearing quartz veins and sulfur in sulfides, indicating magmatic sources of mineralization. The question of the relationship of quartz-antimonite mineralization with magmatism is less defined.

**Keywords:** *Itakinskoye deposit, gold, ore associations, oxygen and sulfur isotopes, indicator ratios of elements*

**Source of financing:** The work was carried out under the state assignments of the INREC SB RAS and IGM SB RAS.

**For citation:** Abramov, B.N., Kalinin, Yu.A., Borovikov, A.A. (2022) Itakin gold deposit: isotopic composition: probable sources of ore matter (Eastern Transbaikalia). *Geosfernye issledovaniya – Geosphere Research*. 2. pp. 6–22. (In Russian). doi: 10.17223/25421379/23/1

## Введение

Представленная работа посвящена одной из важнейших фундаментальных проблем рудной геологии и геохимии – выяснению условий, источников и механизмов формирования рудных концентраций металлов в различных геологических обстановках. Забайкальский край характеризуется наличием различных типов золоторудных месторождений, выделяемых по условиям формирования и минеральным ассоциациям [Спиридонов и др., 2006]. «Итакинский» тип отличается от других золоторудных месторождений широким развитием кварц-антимонитовой минерализации.

Итакинское золоторудное месторождение, расположенное в Могочинском рудном районе Забайкальского края, открыто в 1940 г. старателями прииска «Верхамурзолото» как сурьмяное, с 1962 г. переведено в разряд золото-сурьмяных. Оруденение прослежено до глубины 300–410 м от дневной поверхности. Защищенные запасы составляют около 19 т золота, среднее содержание Au в рудах 9,6 г/т [Быбин и др., 2014]. Геологоразведочными партиями Читинского геологического управления с 1960-х гг. по 2013 г. на месторождении проведены комплексные поисково-

разведочные работы, в результате которых было выделено три рудных участка – Малеевский, Сурьмяная гора и Гавриловский, и подсчитаны запасы категории С<sub>2</sub>. Тематическими исследованиями изучены структурный и магматический контроль оруденения, минеральный состав руд, выделены стадии минерализации [Лейфман, 1965; Ивасив, 1968; Калашников, Давыдов, 1995; Быбин и др., 2014]. Совмещенность золотого и сурьмяного оруденения позволяет отнести месторождение к полиформационным. Проблема соотношения золотого и сурьмяного типов оруденений уже достаточно давно обсуждается в литературе [Дистанов и др., 1975; Сидоров, Волков, 1982, 2001; Амузинский и др., 2001; Неволько, Борисенко, 2009; Калинин и др., 2015]. На одних месторождениях Sb-минерализация пространственно обособлена от золото-сульфидных руд, занимая секущее положение по отношению к основным рудоконтролирующим структурам. На других антимонитовая минерализация совмещена с вкрапленными золото-сульфидными рудами с образованием микропарагенезисов Sb-содержащих минералов с никелем, кобальтом, золотом, свинцом и железом. Часто рудообразующие системы этого типа имеют много характеристик, сходных с типичными

орогенными месторождениями (золото-сульфидно-кварцевыми). Во многих случаях из-за конвергентности характеристических признаков отнести месторождение к тому или иному типу весьма затруднительно. Одним из возможных путей решения этой проблемы является анализ изотопно-геохимических данных.

Цель настоящей работы – на основе обобщения всей накопленной геологической информации, анализа изотопного состава минералов, индикаторных соотношений элементов в рудах и распределения редкоземельных элементов выявить условия образования и источники вещества для золотого и сурьмяного оруденения.

### Фактический материал и методика исследований

В основу публикации положен фактический материал, собранный авторами в процессе полевых исследований непосредственно на месторождении, а также материал территориальных геологических фондов (Чита). Изучение элементного состава пород и руд проведено в аналитических лабораториях Геологического института СО РАН (Улан-Удэ) и в Центре коллективного пользования многоэлементных и изотопных исследований СО РАН (Новосибирск). Содержания элементов определены рентгенофлуоресцентным методом на спектрометре ARL Perform'X 4. Пороги обнаружения V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, As, Se, Br, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo 1–3 г/т; Hf, Ta, W, Hb, Bi, Th, U – 5–10 г/т. Измерения концентраций редкоземельных элементов проведены методом ICP-AES (аналитики Т.И. Казанцева, А.А. Цыренова). Определение изотопного состава кислорода проводилось с использованием установки MIR 10–30 системы лазерного нагрева с лазером CO<sub>2</sub> мощностью 100 Вт и длиной волны 10,6 мкм в инфракрасной области, в присутствии реагента BrF<sub>3</sub> по методу [Sharp, 1990] (аналитик В.Ф. Посохов). Изотопный состав серы в сульфидах проанализирован в ЦКП «Многоэлементные и изотопные исследования» СО РАН на газовом масс-спектрометре Finnigan MAT Delta в режиме двойного напуска (аналитики В.Н. Реутский, М.Н. Колбасова). Значения  $\delta^{34}\text{S}$  (‰) приведены относительно стандарта CDT.

### Краткая характеристика геологического строения месторождения

В геологическом строении района месторождения принимают участие стратифицированные образования архейского, юрского и мелового возрастов (рис. 1).

Архейские плутоногенно-метаморфические образования представлены кристаллическими сланцами, гнейсами могочинского комплекса (Ar<sub>1</sub>mg); юрские

вулканогенно-осадочные отложения укурейской свиты (J<sub>1</sub>uk) – разнообломочными туфами, туфо-песчаниками, туфо-алевролитами, покровами дацитового, липарит-дацитового состава. Меловые отложения тигнинской (K<sub>1</sub>tg), доронинской (K<sub>1</sub>dr) и такшинской (K<sub>1</sub>tk) свит представлены конгломератами, гравелистами, песчаниками с прослоями алевролитов и угленосных образований. Они выполняют Итакинскую впадину и слагают небольшие мульды в восточной части рудного поля.

Структура рудного поля характеризуется блоково-мозаичным строением. Важную роль в формировании его тектонических и металлогенических особенностей сыграли нарушения северо-восточного и субширотного простираний. Наиболее крупные тектонические нарушения представлены Итакинским и Алексеевским разломами, являющимися фрагментами регионального Итака-Тунгирского глубинного разлома. Рудные участки месторождения приурочены к узлам пересечения Итакинского разлома северо-восточного простирания с тектоническими нарушениями северо-западного и субширотного простираний. Разломы сопровождаются зонами дробления мощностью 10–25 м. В большинстве структур северо-западного простирания локализуются дайки гибридных порфиоров, в меньшей степени диоритовых порфиритов и лампрофиоров. По Алексеевскому тектоническому нарушению проходит граница, разделяющая рудные участки Сурьмяная Горка и Малеевский.

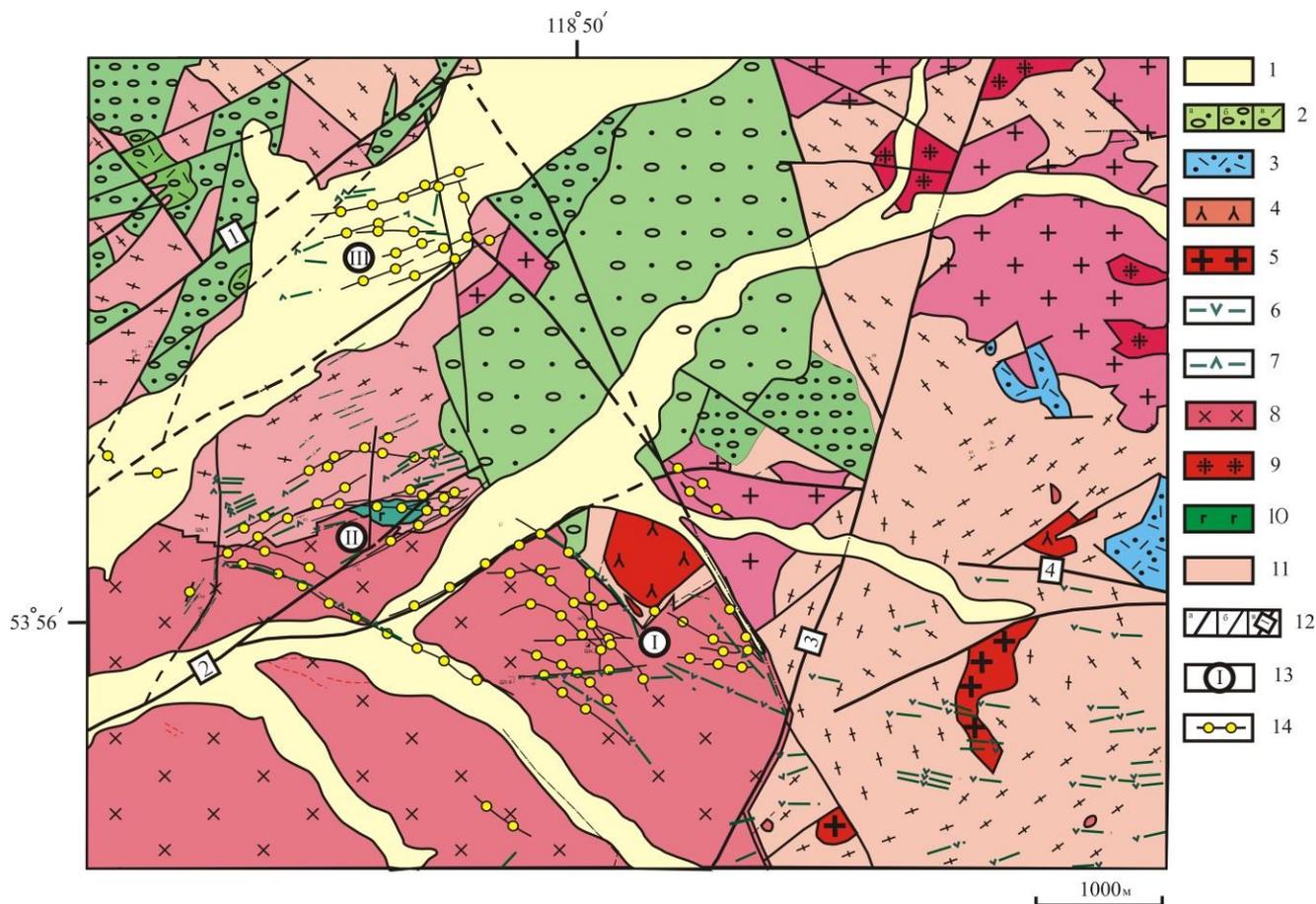
В районе Итакинского месторождения развиты интрузивные образования кручинского (PZ<sub>1</sub>k), крестовского (PZ<sub>1</sub>kr), олекминского (PZ<sub>1</sub>o), амананского (J<sub>1</sub>a) и амуджиканского (J<sub>2-3</sub>am) комплексов. Кручинский комплекс (PZ<sub>1</sub>k) представлен интрузивным штоком, сложенным габбро, габбро-амфиболитами и габбро-норитами. В крестовском интрузивном комплексе (PZ<sub>1</sub>kr) выделяется две фазы внедрения. Первая фаза представлена диоритами, вторая – гранодиоритами. Интрузивные образования первой фазы олекминского комплекса (PZ<sub>1</sub>o) представлены биотитроговообманковыми мелко-среднезернистыми диоритами и кварцевыми диоритами, второй фазы – гранодиоритами и плагиогранитами (см. рис. 1).

Подробнее рассмотрим магматические образования мезозойского возраста, с которыми в Восточном Забайкалье в пространстве и во времени ассоциирует золотое оруденение.

**Амананский комплекс (J<sub>1</sub> a)** представлен тремя фазами: I – габбро, габбро-нориты, II – гранодиориты, III – граниты, гранит-порфиры. Жильная серия представлена аплитами и аплитовидными гранитами. Интрузии комплекса являются вмещающими для рудоносных кварцевых жил на участках Малеевский и Сурьмяная горка. Породы в зависимости от вари-

ций состава соответствуют диорит-гранодиоритовой и монзонит-сиенитовой формациям. В районе Жирекенского молибденового месторождения изотопный возраст (U-Pb метод) гранитоидов амананского

комплекса составляет  $162 \pm 1,4$  млн лет [Берзина и др., 2015]. С гранитоидами амананского комплекса связано молибденовое оруденение [Пояснительная..., 1997].



**Рис. 1. Схема геологического строения Итакинского золоторудного месторождения**  
(по материалам проекта на проведение геологоразведочных работ на участках Малеевский и Сурьянская горка; В.А. Мелиневский, Г.А. Дрижак, 2016 г.)

1 – четвертичные отложения (Q) – валуны, галечники, пески, илы, супеси; 2 – меловые отложения: а – тигнинской (K<sub>1</sub>tg), б – доронинской (K<sub>1</sub>dr), в – такшинской свит (K<sub>1</sub>tk) – конгломераты, конгломерато-брекчии, гравелиты, литокластические туфы; 3 – юрские отложения укуреysкой свиты (J<sub>3</sub>uk) – туфы, туфопесчаники с прослоями лав дацитового состава; 4 – нерчинский комплекс (J<sub>3</sub>n) – дацитовые порфириты; амуджиканский комплекс (J<sub>2-3</sub>am): 5 – штоки гранитоидов, дайки диабазовых и гибридных порфириров (6) и лампрофиров (7); 8 – амананский комплекс (J<sub>1</sub>) – гранитоиды; 9 – крестовский комплекс (PZ<sub>1</sub>) – диориты, кварцевые диориты; 10 – кручининский комплекс (PZ<sub>1</sub>k) – габброиды; 11 – архейские метаморфические образования (Ar<sub>1</sub>) – гнейсы, кристаллические сланцы; 12 – тектонические нарушения, а – крупные, б – мелкие, в – названия тектонических нарушений: 1 – Итакинское, 2 – Алексеевское, 3 – Пограничный, 4 – Малеевский; 13 – рудные участки: I – Малеевский, II – Сурьянская Горка, III – Гавриловский; 14 – сульфидно-кварцевые жилы

**Fig. 1. Scheme of the geological structure Itakinskoe gold deposits**  
(based on the materials of the project for conducting geological exploration at the Maleevsky and Antimony Gorka sites, V. A. Melinevsky, G. A. Drizhak, 2016)

1 – Quaternary deposits (Q) – boulders, gravel, sand, silt, sandy loam; 2 – Cretaceous sediments: a – tigninskaya suite (K<sub>1</sub>tg), b – doroninskaya suite (K<sub>1</sub> dr), in – takshinskaya suite (K<sub>1</sub>) – conglomerates, conglomerate-breccias, gravestones, lithoclastic tuffs; 3 – Jurassic sediments ukureyskoy suite (J<sub>3</sub>uk) – tuffs, tuff sandstones with layers of dacitic lavas; 4 – Nerchinskii complex (J<sub>3</sub> n) – dacitic porphyrites; amudzhikanskiy complex (J<sub>2-3</sub> am): 5 – granitoid stocks, diabase and hybrid porphyrite dikes (6) and lamprophyre (7); 8 – amananskiy complex (J<sub>1</sub>) – granitoids; 9 – Krestovskiy complex (PZ<sub>1</sub>kr) – diorites, quartz diorites; 10 – Kruchininskiy complex (PZ<sub>1</sub>k) – gabbroids; 11 – Archean metamorphic formations (Ar<sub>1</sub>) – gneisses, schists; 12 – tectonic disturbances, a – large, b – small, c – names of tectonic disturbances: 1 – Itakinskoe, 2 – Alekseevskoe, 3 – Border, 4 – Maleevskiy; 13 – ore sites: I – Maleevskiy, II – Sur'myanaya Gorka, III – Gavrilovskiy; 14 – sulfide-quartz veins

**Амуджиканский интрузивный комплекс (J<sub>2-3ат</sub>)** представлен штоками и дайками пестрого состава, приуроченными к субширотной Итака-Могочинской тектонической зоне. Отмечается следующая последовательность интрузий амуджиканского комплекса: 1) кварцевые диориты – первая фаза (штоки); 2) гранодиориты средне-мелкозернистые и гранодиорит-порфиры роговообманково-биотитовые – вторая фаза (штоки); 3) гигантопорфировидные гранит-, гранодиорит- и граносиенит-порфиры – третья фаза (штоки); 4) гибридные порфиры (дайки); 5) лампрофиры и диабазовые порфириты (дайки); 6) дациты и их брекчии – дайки и штокообразные тела. С заключительными этапами становления амуджиканского вулканоплутонического комплекса, т.е. непосредственно с формированием дайковых и эксплозивных образований, тесно связано размещение золоторудной минерализации на всех участках Итакинского рудного поля. О парагенетической связи процессов образования золоторудного оруденения с магматизмом амуджиканского комплекса свидетельствует ряд фактов.

1. Тесная пространственная ассоциация золотоносных кварцево-сульфидных жил с дайками лампрофилов: рудоносные жилы часто встречаются в зальбандах даек и частично в них самих. Так, на участке Сурьямая Горка дайка гибридных порфиров внедряется по простиранию в жилу № 21, разрезая ее на две части [Мельникова, 1970]. В целом характерной особенностью пород дайкового комплекса золоторудных полей Восточного Забайкалья является наличие гибридных образований (гибридные порфириты, лампрофиры и диоритовые порфириты), образованных в результате смешения магм кислого и основного составов. На это указывает наличие в дайках диоритовых порфиритов обратной зональности во вкрапленниках плагиоклаза, которые образуются при растворении кислого плагиоклаза в более основном расплаве, а также присутствие в дайках гибридных порфиритов крупных овоидов калиевого полевого шпата с обтеканием их плагиоклаз-амфиболовым базисом [Бородаевская, 1956].

2. Простирание сульфидно-кварцевых жил соответствует простиранию пород дайкового комплекса, что свидетельствует о формировании их в единых тектонических зонах. Так, на Малеевском участке преобладает северо-западное простирание даек и сульфидно-кварцевых жил, на участке Сурьямая горка и те и другие имеют северо-восточное простирание (см. рис. 1).

3. Исследуя фондовые материалы, сотрудники Московского геологоразведочного института в 1969 г. К–Аг методом установили изотопный возраст даек лампрофилов, составляющий  $143 \pm 8$  млн лет, что соответствует периоду формирования золотого оруденения в Восточном Забайкалье.

Отложения **Нерчинского вулканогенно-осадочного комплекса (J<sub>3-K1</sub>)** выполняют крупные депрессионные структуры. В районе месторождения представлен вулканогенно-осадочными отложениями Итакинской депрессии и небольшими штоками андезитовых порфиритов, расположенных южнее. В составе комплекса выделяется две группы отложений – ранняя вулканогенная и поздняя вулканогенно-осадочная. Вулканогенные породы представлены несколькими штоками дацитовых порфиритов, дайками андезитовых порфиритов. Вулканогенно-осадочные отложения Итакинской депрессии мощностью 100–300 м представлены конгломератами, гравелитами, туфо-песчаниками и туфо-алевролитами. В ходе поисково-разведочных работ на золотосеребряное оруденение, проведенных ОАО «Читагеологоразведка» в 2011–2013 гг, в фундаменте Итакинской депрессии выявлено убогое золотосульфидное оруденение, связанное с мезозойской тектономагматической активизацией.

На месторождении выделяются три рудных участка – Гавриловский, Сурьямая Горка и Малеевский, отличающиеся геологическим строением и степенью изученности. Золотое оруденение проявлено в трех основных рудных ассоциациях: кварц-арсенопиритовой, кварц-полиметаллической и кварц-антимонитовой (табл. 1).

**Гавриловский участок**, наименее изученный, располагается в северной части Итакинского месторождения, преимущественно в долине р. Итака. Участок сложен архейскими метаморфизованными породами (гнейсами, гранито-гнейсами и амфиболитами), раннепалеозойскими гранитами, гранодиоритами, габбро и габбро-амфиболитами, прорванными дайками габбро-диабазов, лампрофилов, дацитовых порфиритов и микродиоритов позднеюрского амуджиканского комплекса. В результате поисковых работ выявлено 17 минерализованных зон с золотосеребряной минерализацией. Мощность их достигает 16–18 м, протяженность по простиранию до 100–1 500 м, по падению – 50–250 м. Содержание золота колеблется от десятых долей г/т до 13,5 г/т, серебра от первых г/т до 1 221 г/т. Золото в рудных зонах тонкодисперсное. На участке наиболее широко представлена минерализация кварц-пирит-арсенопиритового и кварц-антимонитового составов, остальные минеральные ассоциации имеют подчиненное значение. Минеральный состав рудных жил близок рудным жилам участка Сурьямая горка.

**Участок Сурьямая Горка** сложен в разной степени гранитизированными и диафорированными гнейсами, кристаллическими сланцами с линзами амфиболитов и гранулитов архея, габброидами раннего палеозоя и гранодиоритами средне-позднеюрского амананского магматического комплекса. Все

указанные породы прорваны дайками аплитов и аплитовидных гранитов средне-позднеюрского возраста, а также лампрофиров, диоритовых и диабазовых порфиров. На участке выявлено более 30 сульфидизированных зон окварцевания, дробления и брекчирования с золоторудной минерализацией. Рудные тела в них представлены жилами и жильными зона-

ми мощностью от 0,7 до 5,6 м, протяженностью по латерали до 1 500 м. Содержание золота в рудных телах варьирует от 6 до 16,4 г/т. По минеральному составу руды преимущественно кварц-антимонитовые и кварц-пирит-арсенопиритовые с тонкодисперсным золотом. Остальные рудные ассоциации имеют незначительное распространение (см. табл. 1).

Таблица 1

## Распространенность рудных минералов Итакинского месторождения

Table 1

## Prevalence of ore minerals of the Itakinsky Deposit

Главные	Второстепенные	Малораспространенные	Редкие	Температуры минералообразования °С [по Мельниковой и др., 1970]
Стадии минералообразования				
Кварц-молибденит-пиритовая				
Пирит	Молибденит, марказит, пирротин	Халькопирит	Магнетит	320–420
Кварц-арсенопиритовая (продуктивная)				
Арсенопирит, пирит	Пирит, золото, бурнонит, буланжерит,	Магнетит, марказит, магнетит	Серебро самородное, сульфосоли серебра, теллуриды золота, медь самородная, висмут самородный, джемсонит	85–290
Кварц-полиметаллическая (продуктивная)				
Пирит, галенит, сфалерит	Халькопирит, пирит, золото, гематит, теннантит	Антимонит, арсенопирит	Висмутин, тетрадимит, буланжерит, джемсонит, алтаит, борнит, фрейбергит, киноварь	220–300
Кварц-антимонитовая				
Пирит, антимонит, арсенопирит	Пирротин, сфалерит, халькопирит	Киноварь, шеелит, гематит, магнетит	Молибденит, фрейбергит, тетрадимит, галенит	185–220
Кварц-карбонатная				
–	Пирит		Марказит	130–180

**Участок Малеевский** расположен в восток-юго-восточной части Итакинского месторождения, примыкая по северной границе к участку Сурьянная Горка. Участок сложен архейскими метаморфическими породами, средне-позднеюрскими интрузивными образованиями и позднеюрскими субвулканическими породами. В пределах участка выявлено более 40 минерализованных зон, в большинстве из которых установлены промышленные концентрации золота. Протяженность рудных зон изменяется от 190 до 1 380 м, мощность от 0,4 до 50 м. Границы рудных зон с вмещающими породами нечеткие, метасоматические. Рудные тела представлены жилами, прожилками и линзами кварц-карбонат-сульфидного и кварц-карбонат-гематитового состава в окварцованных, сульфидизированных, серицитизированных, каолинизированных породах. Характерной особенностью Малеевского участка является наличие столбообразных рудных тел [Быбин и др., 2014]. Среднее содержание золота в рудных телах изменяется от 3,5 до 9,1 г/т и серебра – от 9,8 до 48,5 г/т. Руды участка

относятся к одному геолого-промышленному типу – золото-сульфидно-кварцевому. Количество сульфидов в рудах колеблется от 0,4 до 32 %, составляя в среднем 3,8 %. Главными рудными минералами являются пирит, сфалерит, галенит, блеклая руда, гематит, халькопирит и золото, второстепенными – арсенопирит, буланжерит, самородное серебро, молибденит (см. табл. 1). Характерной особенностью участка являются широкое развитие гипогенной гематитизации и наличие прожилков молибденита, отсутствующих на других участках. Золото тонкодисперсное (от первых мкм до 0,005–0,01 мм), чаще в виде включений в пирите (см. табл. 1). Установлено, что пробность самородного золота колеблется от 700 до 980 ‰, среднее значение – 844 ‰ [Вах и др., 2018].

На месторождении установлена вертикальная зональность оруденения, выраженная в постепенной смене от верхних рудных горизонтов к нижним преобладающей минерализации от сурьянной к полиметаллической, далее к пирит-арсенопиритовой. В западном блоке участка Сурьянная Горка смена антимонитовых

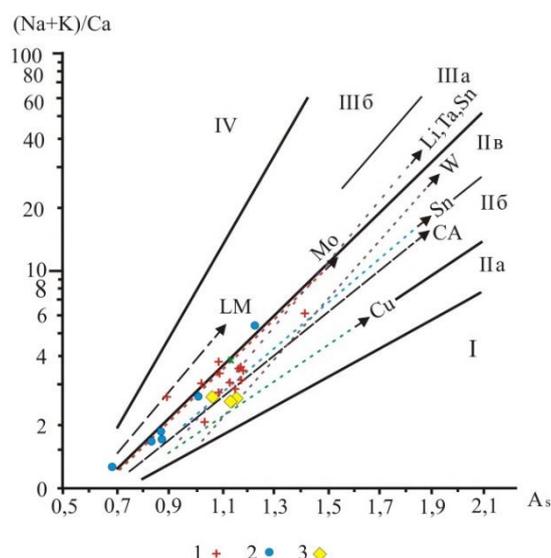
руд полиметаллическими и кварц-арсенопиритовыми происходит на глубине 80–100 м, в центральном блоке поднимается до 15–20 м от поверхности [Мельникова и др., 1970]. Рудные минералы более поздних стадий корродируют ранние рудные минералы. Так, руды кварц-антимонитовой стадии в рудных брекчиях цементируют обломки кварц-пиритовых и кварц-пирит-арсенопиритовых жил. Прожилки кварц-антимонитового состава пересекают рудные жилы кварц-полиметаллической стадии.

В пределах месторождения отмечается широкий спектр метасоматических изменений пород – окварцевание, березитизация, серицитизация и аргиллизация. Мощность зон метасоматитов в приконтактных частях кварцево-сульфидных жил достигает 10 м. Установлена вертикальная зональность метасоматического изменения пород. Так, в верхних горизонтах месторождения (0–500 м) характерно замещение роговой обманки хлоритом и доломитом. Для нижних горизонтов (> 500 м) типично замещение хлорита и плагиоклаза серицитом и кварцем [Гаврикова и др., 1973].

### Петрогеохимическая характеристика пород и руд Итакинского месторождения

Золотое оруденение в Восточном Забайкалье связано с мезозойской тектономагматической активизацией [Спиридонов и др., 2006]. Рассмотрим потенциальную рудоносность мезозойских магматических образований, развитых в районе месторождения.

Для установления потенциальной рудоносности гранитов были использованы система классификационных петрохимических трендов гранитоидных формаций, с которыми связано образование главных типов рудных месторождений (рис. 2) [Бородин, 2004] и петрохимические модули: кремнекислотность  $g = [Si - (Na + K + Ca + Mg + \Sigma Fe)]/Si$ ; известковистость  $c = Ca/(Ca + Na + K)$ ; щелочность  $\alpha = (Na + K)/Al$ ; железистость  $f = \Sigma Fe/(\Sigma Fe + Mg)$ , тип щелочности  $n = Na/(Na + K)$  [Пермяков, 1983]. Анализ граничных величин данных петрохимических параметров показывает, что граниты амананского комплекса Итакинского месторождения в целом не соответствуют рудоносным гранитам (рис. 2, 3) [Ефремова, Стафеев, 1985].

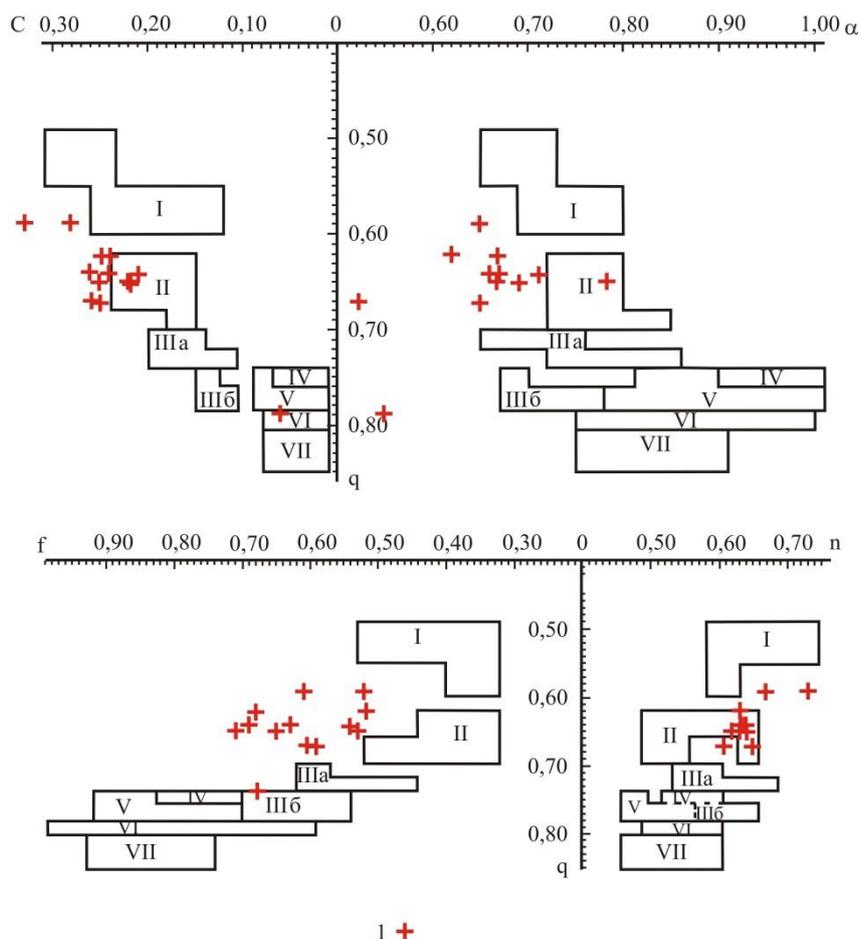


**Рис. 2. Диаграмма  $(Na + K)/Ca$  для магматических образований Итакинского золоторудного месторождения с эталонными трендами интрузивных образований [Бородин, 2004]**

Квалификационные поля: I – известковое, II – известково-щелочное (IIa – субизвестковистые, IIb – известково-щелочные, IIв – известково-субщелочные граниты); III – субщелочное (IIIa – субщелочные и щелочные граниты и лейкограниты, IIIб – щелочные апаитовые граниты и лейкограниты); IV – Щелочное. Эталонные тренды (штрих-пунктирные линии): CA – главный известково-щелочной, LM – латитовый (монзонитовый). Эталонные тренды рудогенных гранитоидных формаций (пунктирные линии): Sn – оловянный, Cu – медно-порфировый, Mo – (Cu) – молибденовый, W – (Mo) – вольфрам-молибденовый; Li, Ta, Nb, Sn – литий-тантал-ниобий-оловянный. 1 – граниты амананского комплекса, 2 – дайки лампрофиров, гибридных порфиров амуджи-канского комплекса, 3 – дациты нерчинского комплекса

**Fig. 2. Diagram  $(Na + K)/Ca$  for magmatic formations of the Itaka gold Deposit with Etalon trends of Intrusive formations [Borodin, 2004]**

Qualifying fields: I – calcareous, II – calc-alkaline (IIa – subcalcareous, IIb – calc-alkaline, IIв – calc-subalkaline granites); III – subalkaline (IIIa – subalkaline and alkaline granites and leucogranites, IIIb – alkaline peralkaline granites and leucogranites); IV – alkaline. Reference trends (dash-dotted lines): CA – main lime – alkaline, LM – latite (monzonite). Reference trends of ore-rich granitoid formations (dotted lines): Sn – tin, Cu – copper-porphyry, Mo – (Cu) – molybdenum, W – (Mo) – tungsten – molybdenum; Li, Ta, Nb, Sn – lithium-tantalum-niobium-tin. 1 – granites of the amananskiy complex, 2 – dikes of lamprophyres, hybrid porphyries of the amudzhikanskiy complex, 3 – dacites of the Nerchinskiy complex



**Рис. 3. Диаграмма полей потенциально рудоносных гранитных массивов Восточного Забайкалья по граничным величинам модулей  $f-g-n, c-g-a$**

Поля рудоносных гранитов: I – с золото-полиметаллической и полиметаллической минерализацией, II – с золото-молибденовой (и полиметаллической) минерализацией, IIIa – с молибденовой (и золото-молибденовой) минерализацией, IIIб – с собственно молибденовой минерализацией, IV – с молибден-вольфрамоминерализацией, V – с вольфрамовой и флюоритовой минерализацией, VI – с вольфрамовой и щелочно-редкометалльной минерализацией, VII – с вольфрам-ниобиевой и флюоритовой минерализацией, 1 – граниты амананского комплекса

**Fig. 3. Diagram of fields of potentially ore-bearing granite massifs of Eastern Transbaikalia by the boundary values of modules  $f-g-n, c-g-a$**

The field of ore-bearing granites: I – с gold-polymetallic and polymetallic mineralization), II – with gold-molybdenum (and polymetallic mineralization), IIIa – molybdenum (and gold-molybdenum mineralization), IIIb – with the actual molybdenum mineralization, IV – with molybdenum-wolfram mineralization, V – tungsten and fluorite mineralization, VI – tungsten and alkaline rare-metal mineralization, VII – with tungsten-niobium, and fluorite mineralization, 1 – granites of the amananskiy complex

На классификационной диаграмме эталонных трендов рудогенных гранитоидных формаций, учитывающей содержание и химическую активность породообразующих элементов, тренду молибден-порфировых месторождений соответствуют породы дайкового комплекса амуджиканского комплекса. С учетом тесной генетической связи золотого и молибденового типов оруденения в Восточном Забайкалье можно констатировать, что дайки амуджиканского комплекса Итакинского месторождения отвечают тренду золото-молибденового оруденения (см. рис. 2).

Мезозойские магматические образования, развитые в районе месторождения, характеризуются повышенными содержаниями щелочей (табл. 2). Такое устойчивое единообразие может свидетельствовать о едином источнике магматических расплавов. На это же указывает распределение в них редкоземельных элементов (РЗЭ). Отмечается их сходство в почти полном перекрытии редкоземельных спектров с умеренным обогащением LREE относительно HREE ( $(La/Yb)_n = 14,2-21,2$ ) (рис. 4). Анализ индикаторных соотношений  $(Tb/Yb)_n$ , используемых в качестве

оценки глубины магмообразования, указывает на разноглубинные источники магм мезозойских магматических образований Итакинского месторождения. Известно, что значения  $(Tb/Yb)_n > 1,8$  отмечаются в магмах с присутствием граната, ниже 1,8 – в магмах равновесных со шпинелью [Wang et al.,

2002]. Согласно соотношениям  $(Tb/Yb)_n$ , из наиболее глубоких источников магм образованы дайки гибридных порфиров  $((Tb/Yb)_n - 2,05-2,47)$ . На более высоком гипсометрическом уровне образованы дайки диоритовых порфиритов  $((Tb/Yb)_n - 1,91-2,12)$  и гранитов  $- ((Tb/Yb)_n - 1,19-1,61)$  (табл. 3).

Таблица 2

Химический состав магматических образований Итакинского золоторудного месторождения

Table 2

Chemical composition of magmatic formations of the Itakinsky gold Deposit

№ проб	301	302-1	306	306-1	308	309	310	313	314	314-1	318	322	323
SiO <sub>2</sub>	47,1	48,20	65,30	63,60	63,60	62,0	59,60	56,10	62,20	63,00	60,50	53,50	55,5
TiO <sub>2</sub>	1,04	0,99	0,78	0,67	0,68	0,67	0,64	0,81	0,52	0,53	0,98	0,84	0,86
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,9	13,20	16,70	15,70	15,90	14,7	14,60	14,30	14,50	14,60	14,90	13,70	14,0
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,66	1,89	1,47	2,28	2,06	1,60	3,46	2,27	2,01	1,77	2,89	1,50	1,71
FeO	4,20	4,60	0,84	2,04	1,80	3,16	3,64	5,04	2,80	2,56	3,60	4,28	4,04
MnO	0,30	0,34	0,15	0,12	0,18	0,09	0,17	0,11	0,11	0,10	0,06	0,23	0,20
MgO	7,59	7,98	0,72	1,59	1,26	3,40	1,82	6,66	3,06	2,75	3,91	6,27	6,37
CaO	8,30	7,36	1,65	3,95	3,73	2,66	3,29	5,49	4,03	4,04	3,78	6,34	5,80
Na <sub>2</sub> O	2,51	2,51	1,58	4,00	3,94	3,05	2,08	3,21	3,42	3,33	3,52	2,47	2,33
K <sub>2</sub> O	2,50	2,16	5,96	3,70	3,54	4,17	5,16	2,35	3,28	3,59	2,92	3,49	3,21
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,35	0,32	0,25	0,21	0,22	0,21	0,23	0,23	0,14	0,14	0,35	0,28	0,28
ппп	10,6	9,97	3,77	2,01	2,28	4,39	4,70	3,02	3,35	3,02	1,90	6,76	5,77
Сумма	100	99,52	99,17	99,87	99,19	100	99,39	99,39	99,42	99,43	99,31	99,66	100
Zn	190	160	354	78	87	116	82	83	59	51	59	74	128
As	220	208	115	27	30	84	180	65	16	19	18	152	128
Pb	121	104	44	29	123	50	41	44	21	25	21	19	38
Rb	65	60	198	81	84	126	132	110	84	83	166	108	89
Sr	680	597	200	632	604	570	225	503	519	525	633	671	687
Zr	168	155	206	194	192	166	172	144	145	155	208	156	150
Nb	11	8,8	9,9	7,1	9,7	10	8,8	10	6,6	6,8	12	9,7	9,8
Sb	52	78	54	8,8	9,4	20	13	27	7,0	2,5	9,0	86	116
U	3	3,7	8,8	3,1	3,6	7,8	2,1	6,0	3,4	5,3	2,5	6,5	6,1
Th	12	10	12	12	14	19	7,1	9,0	8,2	8,5	14,9	13,5	15,6
Ba	822	964	1318	1203	1278	871	1593	792	1035	1134	795	870	841
La	42,7	41,1	45,3	43,4	42,1	38,9	44,3	39,3	30,1	30,6	47,8	43,0	40,1
Ce	85,3	83,0	87,6	83,0	90,6	76,9	80,4	80,2	60,1	60,9	91,9	89,3	83,3
Pr	8,80	8,75	8,50	8,20	9,10	8,00	8,40	9,10	5,90	5,86	9,90	9,40	9,50
Nd	35,8	32,6	31,2	30,6	33,1	28,6	32,6	34,4	19,4	20,3	36,6	35,6	36,1
Sm	8,26	8,36	7,37	7,48	6,82	6,93	8,00	7,87	4,75	4,89	8,88	7,63	8,12
Eu	1,84	1,84	1,47	1,45	1,55	1,51	1,85	1,80	1,06	1,08	1,90	1,91	1,79
Gd	5,60	6,00	4,83	4,83	5,07	4,55	5,33	5,20	3,66	3,53	5,85	5,84	5,41
Tb	0,75	0,80	0,70	0,70	0,70	0,65	0,70	0,70	0,52	0,49	0,80	0,80	0,76
Dy	4,10	3,90	3,22	3,22	3,34	3,34	4,00	3,50	2,65	2,78	3,49	3,92	3,77
Ho	0,82	0,70	0,74	0,77	0,67	0,67	0,91	0,76	0,60	0,54	0,67	0,69	0,82
Er	2,20	1,90	1,86	1,87	1,76	1,76	2,50	1,89	1,57	1,56	1,73	1,72	2,03
Tm	0,27	0,25	0,25	0,28	0,23	0,23	0,35	0,25	0,23	0,23	0,22	0,22	0,26
Yb	1,80	1,73	2,00	2,13	1,60	1,60	2,53	1,45	1,51	1,55	1,49	1,49	1,70
Lu	0,21	0,26	0,32	0,30	0,23	0,23	0,37	0,22	0,26	0,24	0,23	0,23	0,25
Y	19,8	19,8	18,8	19,8	18,4	18,4	25,3	16,8	14,3	14,5	17,4	17,3	20,6
Sr/Y	43,34	30,15	10,63	31,9	32,82	30,97	8,89	29,94	36,29	36,21	36,38	38,78	33,35
La/Yb	23,72	23,75	22,65	20,37	26,31	24,31	17,51	27,70	19,93	19,74	32,08	28,86	23,59
Nb/La	0,26	0,21	0,22	0,16	0,23	0,26	0,20	0,25	0,22	0,22	0,25	0,23	0,24
Y/Ho	24,1	28,3	25,4	25,7	27,5	27,5	28,9	22,1	23,8	26,9	26,0	25,1	25,1
U/Th	0,25	0,37	0,73	0,26	0,26	0,41	0,29	0,66	0,41	0,62	0,17	0,48	0,39
$(Tb/Yb)_n$	1,91	2,12	1,61	1,51	2,01	1,86	1,19	1,98	1,56	1,45	2,47	2,47	2,05
ΣTR	198	191,2	195,4	188,2	196,9	175	192,2	186,6	131,3	134,5	211,5	201,7	194
$(La/Yb)_n$	16,4	16,4	15,7	14,2	18,3	16,9	12,1	18,9	13,8	13,7	22,2	19,9	16,4
Eu/Eu*	0,83	0,79	0,77	0,74	0,80	0,82	0,87	0,86	0,78	0,79	0,80	0,87	0,82
Eu/Sm	<b>0,22</b>	<b>0,22</b>	<b>0,20</b>	<b>0,19</b>	<b>0,23</b>	<b>0,22</b>	<b>0,23</b>	<b>0,23</b>	<b>0,22</b>	<b>0,22</b>	<b>0,21</b>	<b>0,25</b>	0,22

№ проб	301	302-1	306	306-1	308	309	310	313	314	314-1	318	322	323
Rb/Sr	0,09	0,10	0,99	0,13	0,14	0,22	0,31	0,22	0,16	0,16	0,26	0,16	0,13
Mg#	0,74	0,73	0,48	0,50	0,47	0,61	0,40	0,67	0,61	0,60	0,60	0,70	0,71
Na <sub>2</sub> O/K <sub>2</sub> O	1,0	1,16	0,26	1,08	1,11	0,73	0,40	1,36	1,04	0,93	1,20	0,71	0,73

Примечания. Mg# = MgO/(MgO + FeO+0,85Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) в молекулярных количествах; Eu/Eu\* = Eu<sub>N</sub>/[Sm<sub>N</sub> × Gd<sub>N</sub>]<sup>1/2</sup>. Нерчинский комплекс (J<sub>3n</sub>). Андезитовые порфириды: 313, 314, 314-1; Амуджиканский комплекс (J<sub>2-3</sub>). Диоритовые порфириды (дайки): 301, 302-1, 309; гибридные порфиры (дайки): 318, 322, 323; Амананский комплекс (J<sub>1</sub>). Гранитоиды (штоки): 306, 306-1, 308, 310.

Note, Mg# = MgO/(MgO + FeO + 0.85Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) in molecular quantities; Eu/Eu\* = Eu<sub>N</sub>/[Sm<sub>N</sub> × Gd<sub>N</sub>]<sup>1/2</sup>. Nerchinskiy complex (J<sub>3, n</sub>), Andesitic porphyrites: 313, 314, 314-1; Amudjikanskiy complex (J<sub>2-3</sub>). Diorite porphyrites (dikes): 301, 302-1, 309; hybrid porphyries (dikes): 318., 322., 323; the Amananskiy complex (J<sub>1</sub>). Granitoids (stocks): 306, 306-1, 308, 310.

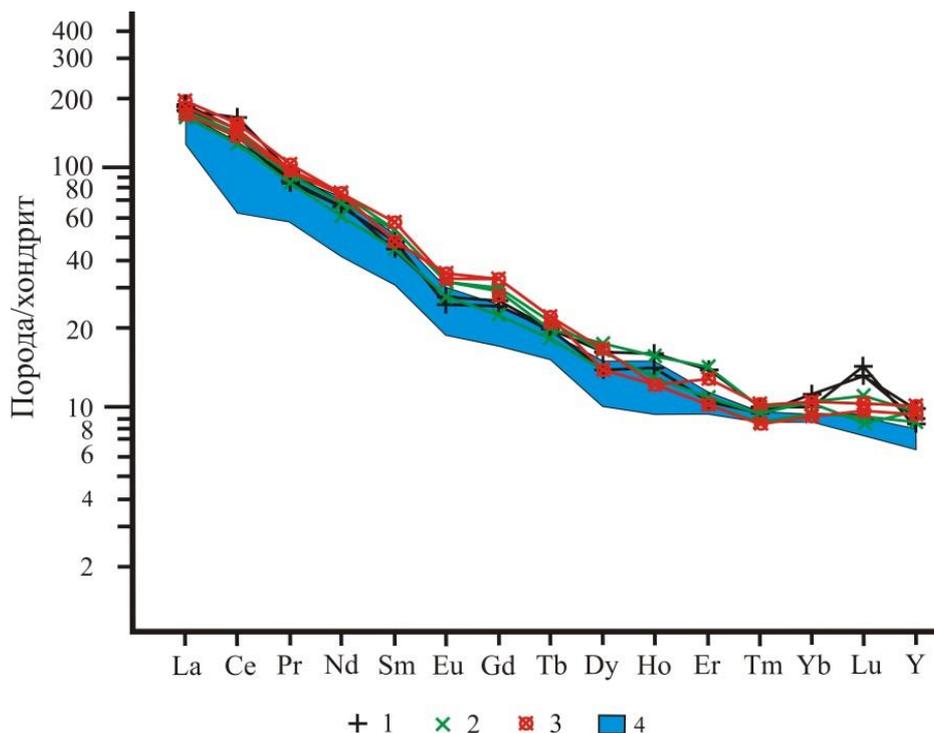


Рис. 4. Спайдер-диаграмма распределения редкоземельных элементов в мезозойских магматических образованиях района Итакинского золоторудного месторождения

1 – гранитоиды амананского комплекса (J<sub>1</sub>); амуджиканский комплекс (J<sub>2-3</sub>): 2 – диоритовые порфириды (дайки), 3 – гибридные порфиры (дайки); 4 – дацитовые порфириды нерчинского комплекса (J<sub>3</sub>-K<sub>1</sub>)

Fig. 4. Spider-diagram of the distribution of rare earth elements in the Mesozoic igneous formations of the Itakinsky gold Deposit area

1 – granitoids of the Amananskiy complex (J<sub>1</sub>); Amudjikanskiy complex (J<sub>2-3</sub>): 2 – diorite porphyrites (dikes), 3 – hybrid porphyries (dikes); 4 – dacite porphyrites of the Nerchinskiy complex (J<sub>3</sub>-K<sub>1</sub>)

Таблица 3

Индикаторные отношения элементов в сульфидно-кварцевых рудах Итакинского месторождения

Table 3

Indicator ratios of elements in sulfide-quartz ores of the Itakinsky deposit

№ проб	Eu/Eu*	Ce/ Ce*	∑TR	Eu/Sm	U/Th	Co/Ni	Hf/Sm	Nb/La	Th/La	Y/ Ho	Rb/Sr	(La/Yb) <sub>n</sub>
Кварц-арсенипиритовая ассоциация												
303	0,83	1,02	184,2	0,22	0,34	0,67	1,61	0,24	0,35	31,38	2,47	15,28
304	0,72	1,05	183,9	0,20	0,29	1,26	0,48	0,25	0,35	13,08	1,68	14,62
305	0,74	0,91	113,5	0,19	–	1,52	0,89	0,16	–	29,63	0,79	28,47
312	0,65	0,96	237,2	0,18	0,42	1,10	0,46	0,21	0,07	23,72	0,23	21,56
336	1,00	1,02	45,84	0,31	0,96	1,71	–	0,11	0,94	26,0	1,92	12,58
337	0,72	1,09	43,49	0,22	0,38	4,30	–	0,15	1,36	32,6	2,33	8,82
339	0,64	0,96	164,1	0,15	0,10	2,32	0,85	0,09	0,72	26,00	7,20	20,95

№ проб	Eu/Eu*	Ce/ Ce*	$\Sigma$ TR	Eu/Sm	U/Th	Co/Ni	Hf/Sm	Nb/La	Th/La	Y/ Ho	Rb/Sr	(La/Yb) <sub>n</sub>
350	0,52	0,94	154,6	0,12	–	0,45	1,99	0,07	1,02	28,89	13,42	26,84
351	0,66	0,91	171,7	0,17	0,21	1,93	–	0,20	0,53	30,29	1,81	15,10
351-2	0,71	0,94	127,4	0,20	–	1,39	1,52	0,36	0,36	30,29	7,35	10,43
Кварц-полиметаллическая ассоциация												
311	0,77	1,03	75,57	0,24	0,40	3,0	2,14	0,11	0,49	37,53	3,25	2,83
311-3	0,68	0,94	75,57	0,19	–	1,76	2,31	0,20	0,44	40,36	4,57	9,3
321	0,69	0,95	138,4	0,17	0,14	1,64	1,23	0,50	0,25	27,76	1,47	23,38
326	0,63	0,66	40,9	0,18	0,48	2,06	6,96	0,19	0,65	6,13	12,75	14,37
327	0,49	0,95	132,6	0,13	–	2,15	2,62	0,24	0,21	28,81	0,95	13,2
336	1,04	1,02	41,0	0,31	0,97	2,00	5,27	0,12	0,94	26,00	1,92	12,56
337	0,73	1,09	36,9	0,22	0,38	4,31	8,46	0,15	1,36	32,60	2,33	8,82
Кварц-антимонитовая ассоциация												
343	0,46	0,86	23,81	0,13	1,98	1,92	0,87	0,33	0,31	29,09	4,10	12,11
343-1	0,75	0,78	17,40	0,20	2,77	2,57	0,73	0,47	0,26	30,00	1,44	9,46
344	0,88	0,52	17,51	0,24	3,07	12,5	0,60	0,49	0,19	28,75	3,28	23,42
344-1	0,97	1,25	16,82	0,27	4,41	1,56	0,19	0,05	0,21	40,00	1,43	20,75
345	0,80	2,11	22,95	0,18	3,25	1,59	0,79	0,28	0,27	49,28	2,58	8,68
345-1	0,80	2,08	22,38	0,26	3,12	2,05	1,11	0,29	0,29	40,90	2,00	11,89
346	0,53	2,47	30,89	0,16	2,57	5,50	0,92	0,31	0,37	35,00	4,91	12,25
346-1	0,68	1,94	13,06	0,18	1,50	3,11	0,82	0,24	0,23	71,76	1,20	15,02
347	0,43	2,21	27,85	0,13	3,18	2,39	0,97	0,33	0,25	40,00	3,76	9,39

Между рудоформирующими магматическими очагами и гидротермальными системами существуют значительные пространственные, временные, термодинамические и геохимические различия и далеко не прямые связи. Будем исходить из того, что состав руд в гидротермальной системе соответствует составу рудоносных флюидов. Полученные нами данные указывают на различную степень дифференциации рудоносных флюидов. Для оценки глубин формирования рудоносных магматических очагов использованы отношения Eu/Sm в трактовке С.Ф. Винокурова [Винокуров, 1996].

Распределение редкоземельных элементов (РЗЭ) показывает, что золотоносные сульфидно-кварцевые руды месторождения характеризуются разными значениями  $\Sigma$ РЗЭ, Eu/Eu\*, Eu/Sm и (La/Yb)<sub>n</sub>, указывающими на их образование из разноглубинных, в разной степени дифференцированных магматических очагов. Выделяется три группы сульфидно-кварцевых руд. Первая группа (кварц-арсенопиритовая ассоциация) характеризуется повышенными содержаниями РЗЭ ( $\Sigma$ РЗЭ – 127,4–184,2), тяжелых РЗЭ [(La/Yb)<sub>n</sub> – 1,9–2,2]. Магматические источники этих руд характеризовались незначительной степенью дифференциации (Eu/Eu\* – 0,72–1,04) и значительными глубинами магматических очагов (Eu/Sm – 0,20–0,31) (см. табл. 3).

Вторая группа (кварц-полиметаллическая ассоциация) в целом имеет меньшие концентрации РЗЭ ( $\Sigma$ РЗЭ – 36,9–237,2). Их источниками были дифференцированные магматические очаги (Eu/Eu\* – 0,49–

0,74), функционировавшие на меньших глубинах (Eu/Sm – 0,13–0,19).

Третья группа представлена рудами кварц-антимонитовой ассоциации, характеризующимися незначительными концентрациями суммы РЗЭ ( $\Sigma$ РЗЭ – 13,06–23,81). При этом кварц-антимонитовые руды по отношению Ce/Ce\* подразделяются на две группы. Первая группа характеризуется «отрицательными» значениями аномалии церия Ce/Ce\* 0,52–0,86, вторая группа характеризуется «положительными» значениями аномалии церия Ce/Ce\* 1,25–2,47. Эти отличия можно объяснить различными обстановками формирования руд. В рудах с открытой рудно-магматической системой, с доступом кислорода, в процессе окисления Ce<sup>+3</sup> переходит в Ce<sup>+4</sup>, руды закрытых систем характеризуются положительными аномалиями церия. Характерной особенностью элементного состава руд Итакинского месторождения является понижение содержания РЗЭ от ранних стадий рудного процесса к поздним (см. табл. 3).

Установлено, что типоморфные отношения микроэлементов в рудах отражают обстановки их формирования. Так, если значения отношения U/Th меньше 0,75, это указывает на окислительную среду рудообразования, 0,75–1,25 – нейтральную, > 1,25 – восстановительную [Волков и др., 2017]. Значения Co/Ni в рудах 0,67–5,50, Y/Ho – 25,0–50,0, что свидетельствует об определенной доле магматического компонента в составе рудообразующего флюида [Jones, 1994]. В гидротермальных флюидах, содержащих

хлор, отношения Hf/Sm, Nd/La и Th/La в рудах преимущественно меньше единицы, а во флюидах, обогащенных фтором, больше единицы [Ridley, 2000].

Руды кварц-антимонитовой ассоциации отличаются высокими значениями отношений U/Th (1,92–5,50), свидетельствующими о восстановительной обстановке их формирования. Руды кварц-полиметаллической и кварц-арсенопиритовой ассоциаций образованы в окислительно-нейтральной обстановке (U/Th – 0,34–0,97) (см. табл. 3).

### Особенности изотопного состава пород и руд Итакинского месторождения

Изучение флюидных включений в минералах показало, что температуры образования кварц-молибденит-пиритовой рудной ассоциации составляют 320–420 °С, кварц-арсенопиритовой – 285–310 °С, кварц-полиметаллической – 220–300 °С, кварц-антимонитовой – 185–220 °С, кварц-карбонатной – 130–180 °С [Мельникова и др., 1970].

Для определения изотопного состава кислорода были отобраны образцы кварца из кварцево-сульфидных руд. Изотопный состав  $\delta^{18}\text{O}$  в кварце изменяется от 11,1 до 15,7 ‰. Изотопный состав кислорода гидротермального флюида рассчитан в системах кварц–вода по уравнению  $\delta^{18}\text{O}_{\text{кварц}} - \delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}} = 3,34 (10^6/T^2) - 3,31$ , где  $T$  – температура в Кельвинах [Matsuhisa et al., 1979]. Рассчитанный изотопный состав кислорода во флюиде в равновесии с кварцем продуктивного этапа (220–300 °С) меняется от 2,77 до 7,24 ‰. Часть рассчитанных значений попадает в интервал от +6,34 до +7,24 ‰, что соответствует водному флюиду магматической природы [Ridley et al., 2000] (табл. 4). Зна-

чения изотопного состава кислорода менее 5,0 ‰ можно объяснить участием в рудообразовании метеорных вод.

Изотопный состав серы во флюиде ( $\delta\text{S}^{34}$ ), находящемся в равновесии с сульфидами в момент минералообразования, был рассчитан по уравнениям фракционирования [Ohmoto et al., 1979], исходя из предположения, что в растворах преобладал  $\text{H}_2\text{S}$ :

$$\Delta_{\text{пирит-H}_2\text{S}} = \delta^{34}\text{S}_{\text{пирит}} - \delta^{34}\text{S}_{\text{H}_2\text{S}} = 0,4 (10^6/T^2);$$

$$\Delta_{\text{галенит-H}_2\text{S}} = \delta^{34}\text{S}_{\text{галенит}} - \delta^{34}\text{S}_{\text{H}_2\text{S}} = -0,64 (10^6/T^2);$$

$$\Delta_{\text{сфалерит-H}_2\text{S}} = \delta^{34}\text{S}_{\text{сфалерит}} - \delta^{34}\text{S}_{\text{H}_2\text{S}} = 0,1 (10^6/T^2);$$

$$\Delta_{\text{антимонит-H}_2\text{S}} = \delta^{34}\text{S}_{\text{антимонит}} - \delta^{34}\text{S}_{\text{H}_2\text{S}} = 0,4 (10^6/T^2).$$

Рассчитанные значения изотопного состава серы во флюиде, равновесном с сульфидами, Итакинского месторождения в интервале температуры от 185 до 300 °С колеблются от –2,5 до 6,2 ‰ (табл. 5). Значения, попадающие в интервал от –3 до +3 ‰, соответствуют значениям серы, поступающей из магматического источника [Ridley, 2000].

Для флюида, отлагавшего пирит при 300 °С, получены значения  $\delta^{34}\text{S}_{\text{H}_2\text{S}}$  в интервале от +1,88 до +6,25 ‰, что соответствует значениям сульфидов орогенных месторождений золота ( $\delta^{34}\text{S}_{\text{H}_2}$  – от –3,0 до +9,0 ‰) [Ridley, 2000]. Флюид, отлагавший антимонит при температуре 185 °С, характеризуется значениями  $\delta^{34}\text{S}$  от –0,5 до +1,5 ‰, что указывает на близость к сере мантийного источника.

Анализ соотношения золотого и сурьмяного оруднения в других регионах свидетельствует, что антимонитовая стадия минерализации отделена от продуктивного золото-полисульфидного этапа значительными временными периодами. Так, в золоторудных месторождениях Обь-Зайсанской зоны антимонитовая стадия проявилась на 7 млн лет позднее золоторудной [Калинин и др., 2015].

Таблица 4

#### Изотопный состав кислорода и сосуществующего с ним флюида Итакинского месторождения

Table 4

#### The isotopic composition of oxygen and coexisting with fluid Itakinsky gold Deposit

№ проб	Состав руд	$\delta^{18}\text{O}$ , ‰ (SMOW)	Изотопный состав флюида при различных температурах, $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ , ‰	
			285 °С	310 °С
Кварц-арсенопиритовая ассоциация			285 °С	310 °С
350	Пирит, арсенопирит (до 1 %)	11,1	3,8	4,6
351	Пирит, арсенопирит (до 1 %)	12,4	5,0	5,9
Кварц-полиметаллическая ассоциация			220 °С	300 °С
311-1	Пирит (до 1 %)	13,2	2,8	6,3
311-4	Пирит (до 1 %)	14,1	3,7	7,2
317	Пирит (до 1 %)	13,8	3,4	6,9
Кварц-антимонитовая ассоциация			180 °С	220 °С
343	Антимонит (до 1 %)	17,8	4,8	7,4
344	Антимонит (до 1 %)	14,3	1,3	3,9
346-1	Антимонит (до 1 %)	13,4	0,4	3,0
347	Антимонит (до 1 %)	15,7	2,7	5,3

## Изотопный состав серы сульфидных минералов и расчетный состав серы во флюиде Итакинского рудного узла

Table 5

## Sulfur isotopic composition of sulfide minerals and the estimated composition of sulfur in fluid Itakinsky gold Deposit

Образец	Минерал	$\delta^{34}\text{S}$ , ‰ CDT	Изотопный состав серы во флюиде	
			$\delta^{34}\text{S}_{\text{H}_2\text{S}}$ , ‰ CDT	
<i>Кварц-арсенопиритовая ассоциация</i>			285 °C	310 °C
332	Пирит	3,1	-0,1	0,2
317	Пирит	3,3	0,1	0,4
317-1	Пирит	3,7	0,5	0,8
326	Пирит	4,4	1,2	1,5
<i>Кварц-полиметаллическая ассоциация</i>			220 °C	320 °C
311-1	Пирит		0,2	1,5
311-4	Пирит	4,5	0,4	1,7
331	Пирит	4,5	0,4	1,7
327	Галенит	4,3	6,9	6,2
<i>Кварц-антимонитовая ассоциация</i>			180 °C	220 °C
344	Антимонит	1,5	-0,5	0,02
346-1	Антимонит	-0,5	-2,5	1,0
347	Антимонит	2,2	0,3	0,7
346-1	Сфалерит	4,5	4,0	3,0

Установлено, что изотопный состав серы антимонита золоторудных месторождений Восточного Казахстана  $\delta^{34}\text{S}$  (Суздальское, Жерек, Жанан, Бакырчик и Дальний I) варьирует в интервале от  $-3,8$  до  $+2,5$  ‰, что предполагает ее глубинное происхождение [Калинин и др., 2015]. В этот же интервал попадают значения изотопного состава серы антимонита Итакинского месторождения.

### Обсуждение результатов исследования

По условиям образования и минералого-геохимическим особенностям Итакинское золоторудное месторождение аналогично многим мезозойским золоторудным месторождениям Восточного Забайкалья. Наиболее близким аналогом является «дарасунский» тип золоторудных месторождений. Руды этого типа характеризуются многостадийностью формирования с широким развитием кварц-пирит-арсенопиритовой ассоциации. Отличительной особенностью Итакинского месторождения является широкое развитие кварц-антимонитовой минерализации. Отмечаются следующие черты сходства Итакинского месторождения с другими мезозойскими золоторудными месторождениями Восточного Забайкалья:

1) приуроченность к зонам глубинных нарушений – Итакинский и Алексеевский разломы являются фрагментами регионального Итака-Тунгирского глубинного разлома;

2) тесная парагенетическая связь золотого оруденения с дайками амуджикано-шахтаминского ком-

плекса. Аналогичная парагенетическая связь золотого оруденения с дайками гибридных порфиритов, лампрофиров установлена на Ключевском, Верхне-Алиинском, Любавинском и других золоторудных месторождениях [Абрамов, 2015, 2016; Абрамов и др., 2019; Спиридонов и др., 2006]. На Итакинском месторождении золотоносные кварцево-сульфидные жилы часто встречаются в зальбандах даек лампрофиров и частично в них самих. Простирание сульфидно-кварцевых жил в большинстве своем соответствует простиранию пород дайкового комплекса;

3) для золоторудных месторождений Восточного Забайкалья типичны повторяющиеся стадии рудных этапов [Спиридонов и др., 2006]. Так, на Ключевском, Александровском, Верхне-Алиинском, Любавинском и Итакинском месторождениях к наиболее ранним рудным стадиям относятся кварц-молибденитовая и кварц-пирит-арсенопиритовая, заключительные этапы рудного процесса представлены кварц-карбонатной стадией;

4) в мезозойских золоторудных месторождениях Восточного Забайкалья установлены следующие температуры минералообразования рудных стадий (°C): турмалиновая 430–320; кварц-актинолит-магнетитовая 395–320; колчеданная 390–275; полиметаллическая 315–230; сульфосольная 300–200; сульфоантимонитовая 270–150; пострудная кварц-карбонатная 120–75 [Спиридонов и др., 2006]. Эти температуры близки температурам минералообразования Итакинского месторождения [Мельникова, 1970];

5) приведенные выше данные указывают на то, что вероятными источниками золотого оруденения в кварц-пирит-арсенопиритовой и кварц-полиметаллической ассоциациях были магматические образования. На это указывает пространственная и временная их связь с породами амуджиканского дайкового комплекса (J<sub>2-3</sub>), а также изотопные соотношения кислорода в рудоносных кварцевых жилах и серы в сульфидах, свидетельствующие о магматических источниках оруденения. Вопрос связи кварц-антимонитовой минерализации с магматизмом менее определен. Следующие факты указывают на соответствие их мантийным образованиям:

1) отношения U/Th 1,92–5,50 в рудах свидетельствуют о восстановительной обстановке их формирования;

2) изотопные данные серы антимонита  $\delta^{34}\text{S}$  от –0,5 до +1,5 ‰ флюидов, отлагавших антимонит, соответствуют сере мантийного источника;

3) наличие в рудах положительной и отрицательной аномалий церия, указывающих на разноглубинные обстановки их формирования.

Эти данные позволяют предполагать, что формирование их происходило в зонах глубинных разломов, за счет глубинных мантийных или нижнекоровых источников. Аналогичный механизм формирования сурьмяных руд предполагается для золотосурьмяных проявлений Адыча-Тарынской рудной зоны Якутии [Рудообразование..., 1988].

Таким образом, на месторождении Итака выделяются три рудных участка: Гавриловский, Сурьмяная Горка и Малеевский, отличающиеся минеральным составом, условиями формирования и источниками вещества. Изотопный состав серы пирита кварц-арсенопиритовой и кварц-полиметаллической стадий отвечает значениям сульфидов орогенных месторождений золота. Изотопный состав серы кварц-антимонитовой ассоциации соответствует глубинному мантийному источнику.

## Заключение

Мезозойские магматические образования, развитые в районе Итакинского месторождения, являются вероятными источниками оруденения и соответствуют высококальциевой известково-щелочной серии.

Рассчитанный изотопный состав кислорода H<sub>2</sub>O флюида, равновесного с кварцем рудных жил при температуре образования кварца продуктивного этапа (260–205 °С), варьирует от 2,69 до 10,26 ‰. Большая часть этих значений соответствует изотопному составу H<sub>2</sub>O флюида магматической природы. Данные изотопного состава кислорода менее 5,5 ‰ можно объяснить участием в рудообразовании метеорных вод. Магматический источник оруденения подтверждается также данными изотопного состава серы H<sub>2</sub>S флюида равновесного с сульфидами. Значительная их часть попадает в интервал от +5,5 до +9,5 ‰, соответствующий сере флюида магматической природы. Руды кварц-антимонитовой ассоциации отличаются высокими значениями отношений U/Th (1,92–5,50), свидетельствующими о восстановительной обстановке их формирования. Руды кварц-полиметаллической и кварц-арсенопиритовой ассоциаций образуются в окислительно-нейтральной обстановке (U/Th – 0,34–0,97). Распределение РЗЭ показывает, что золотосурьмяные сульфидно-кварцевые руды месторождения образованы из разноглубинных в разной степени дифференцированных магматических очагов. В ходе рудного процесса от ранних стадий к поздним происходит уменьшение содержания в них РЗЭ. Вероятными источниками золотого оруденения кварц-пирит-арсенопиритовой и кварц-антимонитовой ассоциаций были магматические образования. Образование кварц-антимонитовой ассоциации имеет мантийный источник. Их формирование, вероятнее всего, происходило в зонах глубинных тектонических нарушений в ходе процессов позднемезозойской тектономагматической активизации.

## Список источников

- Абрамов Б.Н.** Ключевское золоторудное месторождение: условия формирования, петрогеохимические особенности пород и руд (Восточное Забайкалье) // Доклады Академии наук. 2015. Т. 464, № 1. С. 85–90.
- 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.
- Абрамов Б.Н., Посохов В.Ф., Калинин Ю.А.** Любавинское золоторудное месторождение: источники образования, петрогеохимические особенности пород и руд (Восточное Забайкалье) // Доклады Академии наук. 2019. Т. 485, № 6. С. 713–719.
- Амузинский В.А., Анисимова Г.С., Жданов Ю.Я. и др.** Сарылахское и Сентачанское золото-сурьмяные месторождения: геология, минералогия и геохимия. М.: МАИК «Наука / Интерпериодика», 2001. 218 с.
- Берзина А.П., Берзина А.Н., Гимон В.О., Баянова Т.Б., Киселева В.Ю., Крымский Р.Ш., Лепехина Е.Н., Палесский С.В.** Жирекенская Мо-порфировая рудно-магматическая система (Восточное Забайкалье): U-Pb возраст, источники, геодинамическая обстановка // Геология и геофизика. 2015. Т. 56, № 3. С. 571–594.
- Бородаевская М.Б.** Некоторые особенности петрогенезиса формации малых интрузий послевержнеюрского возраста в одном из районов Восточного Забайкалья // Известия Академии наук СССР. Серия геологическая. 1956. № 6. С. 70–91.
- Бородин Л.С.** Модельная система петрохимических и металлогенических трендов гранитоидов как система прогноза месторождений Sn, Li, Ta, W, Mo, Cu // Геология рудных месторождений. 2004. Т. 46, № 1. С. 1–26.

**Быбин Ф.Ф., Багова В.З.** Могочинско-Карийский золоторудный район (Восточное Забайкалье) // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. 2014. № 1 (17). С. 78–84.

**Вах А.С., Горячев Н.А., Федосеев Д.Г., Карабцев А.О., Вах Е.А.** Минералого-геохимические особенности руд Малеевского участка Итакинского золоторудного месторождения (Восточное Забайкалье, Россия) // Труды VII Всероссийского симпозиума с международным участием «Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий» 22–25 августа 2018 г. Чита : ЗабГУ, 2018. С. 20–23.

**Винокуров С.Ф.** Европийевые аномалии в рудных месторождениях и их геохимическое значение // Доклады Академии наук. 1996. Т. 346. С. 792–795.

**Волков А.В., Сидоров А.А., Савва Н.Е., Колова Е.Е., Мурашов К.Ю.** Геохимические особенности палеозойских Au-Ag эпitherмальных месторождений (Северо-Восток России) // Доклады Академии наук. 2017. Т. 472, № 4. С. 443–448.

**Гаврикова С.Н., Шевырев И.А., Аликин В.С., Иванов В.Н.** Элементы вертикальной зональности в березитах и рудах Итакинского рудного поля (Восточное Забайкалье) // Геология рудных месторождений. 1973. № 3. С. 117–123.

**Дистанов Э.Г., Стеблева А.Т., Оболенский А.А. и др.** Генезис Удерейского золотосурьмяного месторождения в Енисейском кряже // Геология и геофизика. 1975. № 8. С.19–27.

**Ефремова С.В., Стафеев К.Г.** Петрохимические методы исследования горных пород : справ. пособие. М. : Недра, 1985. 511 с.

**Ивасив С.М.** Температурные условия формирования основных минеральных ассоциаций Итакинского золоторудного месторождения (Восточное Забайкалье) // Материалы III Всесоюзного совещания по минералогической термобарометрии и геохимии глубинных минералообразующих растворов. М., 1968. С. 70–72.

**Калашников В.А., Давыдов, Ю.К.** Итакинское золоторудное месторождение // Месторождения Забайкалья. М. : Геоинформарк, 1995. Т. 1, кн. 2. С. 41–48.

**Калинин Ю.А., Наумов Е.А., Борисенко А.С., Ковалев К.Р., Антропова А.И.** Пространственно-временные и генетические соотношения золоторудной и сурьмяной минерализации на золотосульфидных месторождениях Обь-Зайсанской складчатой зоны // Геология рудных месторождений. 2015. Т. 57, № 3. С. 179–194.

**Лейфман Е.М.** О структурном контроле эндогенного оруденения в Могочинском рудном районе (Восточное Забайкалье) // Геология и геофизика. 1965. № 6. С. 124–127.

**Мельникова К.М., Крюков В.К.** Основные черты геологии Итакинского золоторудного месторождения // Известия Академии наук СССР. Серия геологическая. 1970. № 8. С. 67–78.

**Неволько П.А., Борисенко А.С.** Сурьмяная минерализация на золотосульфидных месторождениях Енисейского кряжа // Разведка и охрана недр. 2009. № 2. С. 11–14.

**Пермяков Б.Н.** Петрохимические коэффициенты потенциальной рудоносности гранитоидных ассоциаций Забайкалья // Известия Академии наук СССР. Серия геологическая. 1983. № 3. С. 82–91.

**Пояснительная записка к геологической карте масштаба 1 : 500 000.** Чита : Читагеолсъёмка, 1997. 239 с.

**Рудообразование и генетические модели эндогенных рудных формаций / отв. ред. А.А. Оболенский, В.И. Сотников, В.Н. Шарпов.** Новосибирск : Наука. 1988. 344 с.

**Сидоров А.А., Волков А.В.** Об антимонитовой минерализации на золоторудных месторождениях // Доклады Академии наук СССР. 1982. Т. 266, № 2. С. 433–435.

**Сидоров А.А., Волков А.В.** О связи крупных золото-сульфидных месторождений с ртутной и сурьмяной минерализацией // Доклады Академии наук. 2001. Т. 379, № 6. С. 802–806.

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

**Matsuhisa Y., Goldsmith J.R., Clouton R.N.** Oxygen isotopic fractionation in the system quartz-albite-anortite-water // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1979. V. 43. P. 1131–1140.

**Jones B., Manning D.A.C.** Composition of geochemical indices used for the interpretation of paleoredox conditions in ancient mudstones // *Chemical Geology*. 1994. V. 111. P. 111–129.

**Ohmoto H., Rye R.O.** Isotope of sulfur and carbon // *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits*. New York : J. Wiley and Sons, 1979. P. 509–567.

**Ridley J.R., Diamond L.W.** Fluid chemistry of orogenic lode gold deposits and implications for genetic models // *Gold in 2000*. SEG Reviews. 2000. V. 13. P. 141–162.

**Sharp Z.D.** A laser-based microanalytical method for the in-situ determination of oxygen isotope ratios of silicates and oxides // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1990. V. 54. P. 1353–1357.

**Wang K., Plank T., Walker J.D., Smith E.L.** A mantle melting profile across the Basin and Range, SWUSA // *Journal of Geophysical Research*. 2002. V. 107. № B1. 0.1029/2001JB000209.

## References

Abramov B.N. Klyuchevskoe gold Deposit: formation conditions, petrogeochemical features of rocks and ores (Eastern Transbaikalia) // *Doklady Earth Sciences*. 2015. V. 464 (1). pp. 85–90.

Abramov B.N. Verkhne-Aliinsky gold deposit: conditions of formation, petrogeochemical features of rocks and ores (Munginsk Ore Cluster, Eastern Transbaikalia) // *Litosfera*. 2016. No. 4. pp. 92–101. In Russian

Abramov B.N., Posohov V.F., Kalinin Y.A. Lyubavinskoe gold deposit (Eastern Transbaikalia): sources of formation and petrogeochemical features of rocks and ores // *Doklady Earth Sciences*. 2019. V. 485. No. 2. pp. 432–438.

Amuzinskiy V.A., Anisimova G.S., Zhdanov Yu.Ya. etc. *Sarylakhskoye i Sentachanskoye zoloto-sur'myanyye mestorozhdeniya : geologiya, mineralogiya i geokhimiya* [Sarylakhskoe and Sentachanskoe gold-antimony deposits: geology, mineralogy and geochemistry]. Moscow : MAIK «Nauka / Interperiodika», 2001. 218 p. In Russian

- Berzina A.P., Berzina A.N., Gimon V.O., Kiseleva V.Y., Palesskii S.V., Bayanova T.B., Krymskii R.S., Lepekhina E.N. The Zhireken porphyry Mo ore-magmatic system (Eastern Transbaikalia): U-Pb age, sources, and geodynamic setting // Russian Geology and Geophysics. 2015. V. 56, No. 3. pp. 446–465.
- Borodaevskaya M.B. *Nekotorye osobennosti petrogenezisa formacii malyh intruzij poslevertcheyevskogo vozrasta v odnom iz rajonov Vostochnogo Zabaykal'ya* [Some features of petrogenesis of small intrusions of post-perch-neur age in one of the districts of Eastern Transbaikalia] // Izvestiya Akademii Nauk SSSR. Se-Riya Geologicheskaya. 1956. No. 6. pp. 70–91. In Russian
- Borodin L.S. Model system of petrochemical and metallogenic trends of granitoids as a basis for the prognosis of Sn, Li, Ta, W, Mo and Cu deposits // Geology of ore deposits. 2004. V. 46. No. 1. pp. 1–21.
- Bybin F.F., Bagova V.Z. *Mogochinsko-Karijskij zolotorudnyj rajon (Vostochnoe Zabajkal'e)* [Bagova Mogocha-Carian gold ore district (Eastern Transbaikalia)] // Geologiya i mineral'no-syr'evye resursy Sibiri. 2014. No. 1 (17). pp. 78–84. In Russian
- Vakh A.S., Goryachev N.A., Fedoseev D.G., Karabtsev A., Vakh E. A. *Mineralogo-geokhimicheskiye osobennosti rud Maleevskogo uchastka Itakinskogo zolotorudnogo mestorozhdeniya (Vostochnoye Zabaykal'ye. Rossiya)* [Mineralogical-geochemical features of ores of the Maleevsky plot Irakische gold Deposit (Eastern Transbaikalia, Russia)] // Proceedings of the VII all-Russian Symposium with international participation "Mineralogy and Geochemistry of landscape of the mining areas" 22–25 August 2018 Chita: Sabga. 2018. pp. 20–23. In Russian
- Vinokurov S.F. *Evropeyevyye anomalii v rudnykh mestorozhdeniyakh i ikh geokhimicheskoye znachenie* [Europium anomalies in ore deposits and their geochemical significance] // Reports of the Academy of Sciences. 1996. V. 346. pp. 792–795. In Russian
- Volkov A.V., Sidorov A.A., Murashov K.Y., Savva N.E., Kolova E.E. Geochemical features of Paleozoic Au-Ag epithermal deposits (Northeastern Russia) // Doklady Earth Sciences. 2017. V. 472. No. 4. pp. 178–183.
- Gavrikova S.N., Shevryev I.A., Alkin V.S., Ivanov V.N. *Elementy vertikal'noy zonal'nosti v berezitakh i rudakh Itakinskogo rudnogo polya (Vostochnoye Zabaykal'ye)* [Elements of vertical zonality in the berezites and ores of the Itakinsky ore field (Eastern Transbaikalia)] // Russian Geology and Geophysics. 1973. No. 3. pp. 117–123. In Russian
- Distanov E.G., Stebleva A.T., Obolensky A.A., etc. *Genezis Udereyskogo zolotosur'myanogo mestorozhdeniya v Eniseyskom kryazhe* [Genesis of the Uderey gold-antimony deposit in the Yenisei Ridge] // Russian Geology and Geophysics. 1975. No. 8. pp. 19–27. In Russian
- Efremova S.V., Stafeev K.G. *Petrokhimicheskiye metody issledovaniya gornyykh porod. Spravochnoye posobiye* [Petrochemistry methods of rock research. Reference manual]. Moscow : Nedra. 1985. 511 p. In Russian
- Ivasiv S.M. *Temperaturnyye usloviya formirovaniya osnovnykh mineral'nykh assotsiatsiy Itakinskogo zolotorudnogo mestorozhdeniya (Vostochnoye Zabaykal'ye)* [Temperature conditions for the formation of the main mineral associations of the Itakinsky gold Deposit (Eastern Transbaikalia)] / Materials of the III all-Union meeting on mineralogical thermobarometry and Geochemistry of deep mineral-forming reservoirs. Moscow: 1968. pp. 70–72. In Russian
- Kalashnikov V.A., Davydov Yu.K. *Itakinskoye zolotorudnoye mestorozhdeniye // Mestorozhdeniya Zabaykal'ya* [Itakinskoe gold Deposit // Deposits of Transbaikalia]. Vol. I. book II. Moscow: Geoinformark. 1995. pp. 41–48. In Russian
- Kalinin Y.A., Naumov E.A., Borisenko A.S., Kovalev K.R., Antropova A.I. Spatio-temporal and genetic relationships between gold and antimony mineralization at gold-sulfide deposits of the Ob-Zaisan folded zone // Geology of ore deposits. 2015. V. 57. No. 3. pp. 157–171.
- Leifman E.M. On structural control of endogenous mineralization in the Mogochinsky ore district (Eastern Transbaikalia) // Russian Geology and Geophysics. 1965. No. 6. pp. 124–127. In Russian
- Melnikova K. M., Kryukov V.K. *Osnovnye cherty geologii Itakinskogo zolotorudnogo mestorozhdeniya* [The Main features of the Geology of the Itakinsky gold mine birthplace] // Izvestiya Akademii nauk SSSR. Seriya geologicheskaya. 1970. No. 8. pp. 67–78. In Russian
- Nevolko P.A., Borisenko A.S. *Sur'myanaya mineralizatsiya na zolotosul'fidnykh mestorozhdeniyakh Enisejskogo kryazha* [Antimony mineralization on gold-sulfide deposits of the Yenisei Ridge] // Prospect and protection of mineral resources. 2009. No. 2. pp. 11–14. In Russian
- Permyakov B.N. *Petrokhimicheskiye koeffitsiyenty potentsial'noy rudonosnosti granitoidnykh assotsiatsiy Zabaykal'ya* [Petrochemical coefficients of potential ore-bearing granitoid associations of Transbaikalia] // Izvestia of the USSR Academy of Sciences. A series of geological. 1983. No. 3. pp. 82–91. In Russian
- Poyasnitel'naya zapiska k geologicheskoy karte masshtaba 1: 500 000* [Explanatory note to the geological map of scale 1 : 500 000]. Chita: Chitageolsemka. 1997. 239 p. In Russian
- Rudoobrazovaniye i geneticheskiye modeli endogennykh rudnykh formatsiy* [Ore Formation and genetic models of endogenous ore formations] / Edited by Obolensky A. A., Sotnikov V. I., Sharapov V. N. / Novosibirsk: Nauka. 1988. 344 p. In Russian
- Sidorov A.A., Volkov A.V. *Ob antimonitovoy mineralizatsii na zolotorudnykh mestorozhdeniyakh* [On antimonite mineralization in gold deposits] // Reports of the Academy of Sciences of the USSR. 1982. V. 266. Part 2. pp. 433–435. In Russian
- Sidorov A. A., Volkov A. V. On the relation of a large gold-sulfide deposits of mercury and antimony mineralization // Doklady Earth Sciences, 2001. V. 379. No. 6. pp. 802–806.
- Spiridonov A.M., Zorina N.A., Kitaev N.A. *Zolotonosnyye rudno-magmaticheskiye sistemy Zabaykal'ya* [Gold-Bearing ore-magmatic systems of the Transbaikal region. Novosibirsk: Akadem. Geo publishing house. 2006. 291 p.
- Matsuhisa Y., Goldsmith J.R., Clauton R.N. Oxygen isotopic fractionation in the system quartz-albite-anortite-water // Geochimica et Cosmochimica Acta 1979. V.43. pp. 1131–1140.
- Jones B., Manning D.A.C. Composition of geochemical indices used for the interpretation of paleoredox conditions in ancient mudstones // Chemical Geology. 1994. V.111. pp. 111–129.
- Ohmoto H., Rye R.O. Isotope of sulfur and carbon // Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits. N.Y.: J. Wiley and Sons. 1979. pp. 509–567.
- Ridley J. R., Diamond L.W. Fluid chemistry of orogenic lode gold deposits and implications for genetic models // Gold in 2000. SEG Reviews. 2000. V. 13. pp. 141–162.

Sharp Z.D. A laser-based microanalytical method for the in-situ determination of oxygen isotope ratios of silicates and oxides // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1990. V. 54. pp. 1353–1357.

Wang K., Plank T., Walker J.D., Smith E.L. A mantle melting profile across the Basin and Range. SWUSA // *Journal of Geophysical Research* 2002. V. 107. № B1. 0.1029/2001JB000209.

**Информация об авторах:**

**Абрамов Б.Н.**, доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, Чита, Россия.

E-mail: b\_abramov@mail.ru

**Калинин Ю.А.**, доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник, Институт геологии и минералогии СО РАН, Новосибирск, Россия.

E-mail: kalinin@igm.nsc.ru

**Боровиков А.А.**, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, Институт геологии и минералогии СО РАН, Новосибирск, Россия.

E-mail: borovik@igm.nsc.ru

*Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.*

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.*

**Information about the authors:**

**Abramov B.N.**, Dr. Sci.(Geol.-Miner.), Leading Researcher, Institute of natural resources. ecology and Cryology SB RAS, Chita, Russia.

E-mail: b\_abramov@mail.ru

**Kalinin Y.A.**, Dr. Sci.(Geol.-Miner.), Chief Researcher, V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, Russia.

E-mail: kalinin@igm.nsc.ru

**Borovikov A.A.**, Cand. Sci. (Geol.-Miner.), Senior Researcher, V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, Russia.

E-mail: borovik@igm.nsc.ru

*Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.*

*The authors declare no conflicts of interests.*

*Статья поступила в редакцию 04.09.2020; одобрена после рецензирования 10.10.2021; принята к публикации 14.06.2022*

*The article was submitted 04.09.2020; approved after reviewing 10.10.2021; accepted for publication 14.06.2022*