

ИЗОТОПНО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РУД КУМИРНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ СЕРЕБРА (ПРИМОРЬЕ)

ISOTOPIC AND MINERALOGICAL CHARACTER OF SILVER ORE DEPOSIT KUMIRNOE (PRIMORIE)



В. В. Ивин,
Дальневосточный геологический институт Дальневосточного отделения РАН, г. Владивосток
ivin_v@mail.ru

V. Ivin,
Far Eastern Geological Institute of the Far Eastern Branch of the RAS, Vladivostok



Е. И. Медведев,
Дальневосточный геологический институт Дальневосточного отделения РАН, г. Владивосток
Cage21@mail.ru

E. Medvedev,
Far Eastern Geological Institute of the Far Eastern Branch of the RAS, Vladivostok



И. И. Фатьянов,
Дальневосточный геологический институт Дальневосточного отделения РАН, г. Владивосток
Igor.1937@list.ru

I. Fatiyov,
Far Eastern Geological Institute of the Far Eastern Branch of the RAS, Vladivostok

Впервые для Кумирного месторождения серебра, расположенного в центральной части Приморского края на территории Нижне-Таежного рудного узла (Восточно-Сихотэ-Алинский вулcano-плутонический пояс), проведено детальное изучение минералогического и изотопного состава серебросодержащих рудных зон. Основным нерудным минералом зон является кварц. Установлено, что рудная минерализация распределена в виде гнезд, вкрапленников и прожилков сульфидов (пирита, арсенопирита, сфалерита, галенита и халькопирита). Выделены основные серебросодержащие минералы (акантит, пираргирит, полибазит, фрейбергит, стефанит, матильдит, элетрум, самородное серебро) и рассмотрены их взаимоотношения с сульфидами. Важным представляется обнаружение редкого Se-содержащего минерала – авгиларита. Изотопные исследования проведены в центре коллективного пользования Дальневосточного геологического института Дальневосточного отделения Российской академии наук (ЦКП ДВГИ ДВО РАН). Определения серы сульфидов выполнены на элементном анализаторе Flash EA-112 (Thermo Scientific, Germany). Результаты исследования серы сульфидов и полученный узкий положительный интервал ее отношений, близкий к метеоритному стандарту, указывает на высокую однородность рудообразующих гидротермальных растворов. Эти результаты хорошо согласуются с изотопными данными по сере сульфидов золото-серебряных месторождений, расположенных в окраинно-континентальных вулcano-плутонических поясах. К ним относятся месторождения Дукат, Многовершинное и Сергеевское. Сравнение Кумирного месторождения с крупными благороднометалльными объектами, расположенными в вулcano-плутонических поясах, позволяют предположить, что поступление рудогенных элементов происходило при участии корово-мантийных флюидных потоков, вероятно связанных с мантийным источником. Образование Кумирного месторождения серебра, как и перечисленных, происходило в мел палеогеновое время, что дает право отнести его к месторождениям окраинно-континентальных вулcano-плутонических поясов

Ключевые слова: изотопия; сера; серебро; сульфиды; арсенопирит; пирит; галенит; сфалерит; редкие минералы; вулcano-плутонические пояса

For the first time for the Kumirnoye silver deposit, located in the central part of Primorsky Krai on the territory of the Lower Taiga ore cluster (East Sikhote-Alinsky volcano-plutonic belt). A detailed study of the mineralogical and isotopic composition of silver-containing ore zones has been carried out. The main non-metallic mineral is quartz. It has been established that ore mineralization is distributed in the form of nests and contains sulfides (pyrite, arsenopyrite, sphalerite, galena and chalcopyrite). The main silver-containing minerals (acanthite, pyrrargyrite, polybasite, freibergite, stephanite, matildite, electrum, native silver) were identified and their relationship with sulfides was examined. The discovery of rare selenium - the mineral - augilarite - is very interesting. Isotope studies were carried out at the collective use center of the Far Eastern Geological Institute of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (CUC FEGI FEB RAS). Flash EA-112 (Thermo Scientific, Germany), performed on an elemental analyzer. The research results show that sulfide and sulfide and the resulting narrow positive intervals of its relationship indicate homogeneous ore-forming hydrothermal solutions. Gold-silver deposits located in marginal-continental volcanic-plutonic belts. These include the Dukat, Mnogovershinnoye and Sergeevskoye deposits. Comparison of oil and natural gas reserves located in the volcanic-plutonic belts suggests that cows-mantle fluid flows occurring in this direction may be associated with the mantle result. The formation of the Kumirnoye silver deposit, as it turned out, can occur in the shallow Paleogene time, which allows it to be mined in the deposit of marginal-continental volcanic-plutonic belts

Key words: *isotopy; sulfur; silver; sulfides; arsenopyrite; pyrite; galena; sphalerite; rare minerals; volcanic-plutonic belts*

Введение. Кумирное месторождение серебра является одним из наиболее перспективных объектов Приморского края. Месторождение расположено в пределах Нижне-Таежного рудного узла, входящего в состав Восточно-Сихотэ-Алинского вулканоплутонического пояса (ВСАВП). Слабая изученность объекта связана с удаленностью территории от развитой инфраструктуры. В работе приведены изотопные и минералогические данные по Кумирному месторождению. Объект характеризуется весьма сложным геологическим строением (рис. 1), наличием разноориентированных разломов, крупных магматических центров и масштабных потоков рассеяния серебра, свинца, цинка, олова, меди и золота [5; 6]. Геологические образования, участвующие в строении рудного поля, принадлежат двум структурным этапам: нижнему – терригенному (ранний мел), породы которого смяты в складки северо-восточного простирания, и верхнему – вулканогенному, состоящему из стратифицированных эффузивно-пирокластических накоплений приморской (турон-кампан), самаргинской (маастрихт) и богопольской (дат) толщ. Эффузивно-пирокластические накопления вулканогенных толщ являются комагматами позднемеловых гранитоидных массивов, расположенных в рудном поле и на сопредельных территориях.

На месторождении известно порядка двадцати рудных тел преимущественно северо-западной (реже субширотной, субме-

ридиональной и редко северо-восточной) ориентировки, в которых проявлена многометалльно-серебряная (Sn-Cu-Pb-Zn-Au-Ag) минерализация. Выделяется три минеральных ассоциации: пирит-арсенопиритовая, полиметаллическая, серебро-акантит-сульфосольная. С первой в рудах месторождения связано образование основной массы пирита и арсенопирита, со второй – сфалерита, галенита, халькопирита, с третьей – акантита, пираргирита, полибазита, фрейбергита, стефанита, матильдита, агиродита, самородного серебра, а также In-содержащего сфалерита.

Методы исследования. Минералогические исследования рудной минерализации, позволившие выявить состав, особенности распределения, характер взаимоотношений минералов, а также последовательность их образования, проведены на оборудовании центра коллективного пользования ДВГИ ДВО РАН: рентгеноспектральном анализаторе JXA-8100, микроскопах Zeiss Axio Plan 2, AxioImager D, Nikon Eclipse LV100 Pol.

Изотопные определения серы сульфидов выполнены с использованием элементного анализатора Flash EA-112 (Thermo Scientific, Germany) в конфигурации S по стандартному протоколу конвертирования серы сульфида в SO_2 . Измерения изотопных отношений $^{34}S/^{32}S$ проведено на масс-спектрометре MAT-253 (Thermo Scientific, Germany) в режиме непрерывного потока гелия. Измерения выполнены относительно лабора-

торного стандарта газа SO₂, калиброванного по международным стандартам IAEA-1, IAEA-S-2, IAEA-S-3 и NBS-127. Для калибровки аналитической системы в ходе выполнения анализов использовали указанные международные изотопные стандарты. Результаты измерений представлены в общепринятой форме

$$\delta^{34}\text{S} = \left(\frac{R_{\text{образец}}}{R_{\text{стандарт}}} - 1 \right) \cdot 1000, \text{‰}$$

где $R_{\text{образец}}/R_{\text{стандарт}}$ – отношение ³⁴S/³²S в образце и стандарте соответственно.

Воспроизводимость результатов $\delta^{34}\text{S}$ составляет ±0,1 ‰ (1σ) для стандарта (n=5) и образцов. Результаты измерений $\delta^{34}\text{S}$ даны в отношении к международному стандарту VCDT.

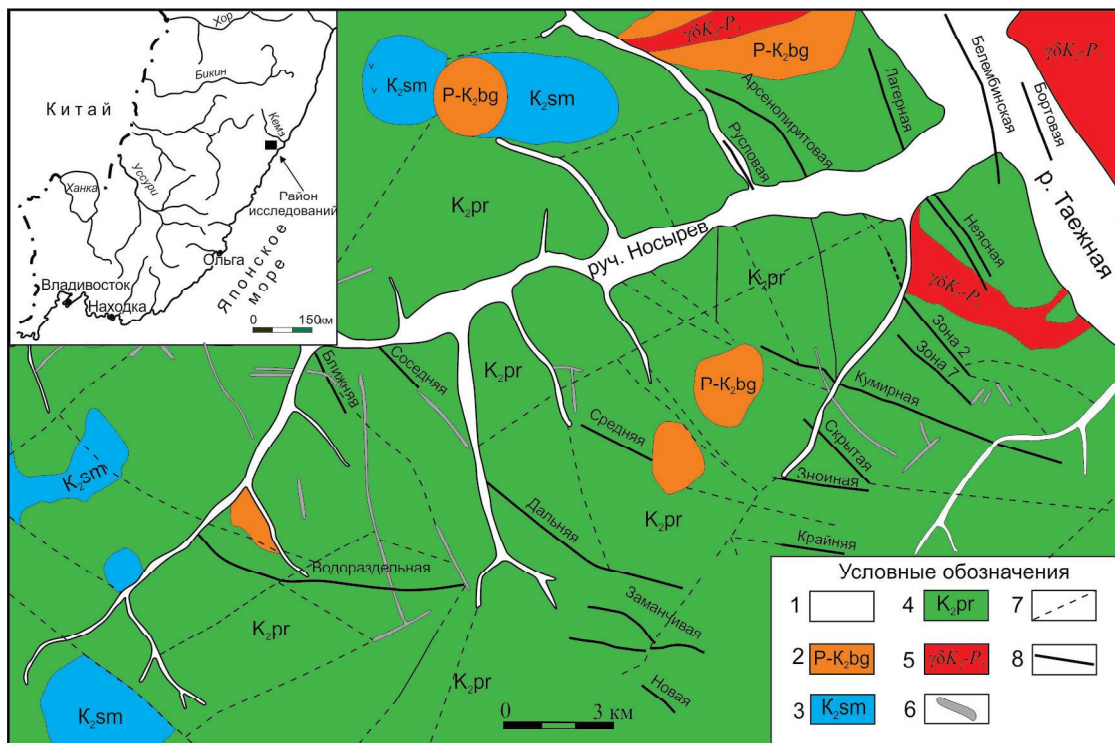


Рис. 1. Схематическая геологическая карта Кумирного месторождения (по материалам ОАО «Примгеология» с изменениями авторов): 1 – четвертичные отложения; 2 – богопольская толща (P-K₂bg); 3 – самаргинская толща (K₂sm); 4 – приморская толща (K₂pr); 5 – гранитоидные массивы (gdK₂-P₁); 6 – штокообразные субвулканические тела и дайки позднекрейдового и палеогенового возраста; 7 – тектонические нарушения, 8 – рудные тела / Fig. 1. Schematic geological map of the Kumirnoye deposit (based on materials of "Primgeologiya" with the authors' changes): 1 – Quaternary sediments; 2 – Bogopol'skay strata (P-K₂bg); 3 – Samarginskay strata (K₂sm); 4 – Prymorskay strata (K₂pr); 5 – Malinovsky granitoid massif (d-g K₂-P₁); 6 – Subvolcanic stock bodies and dykes of the Late Cretaceous and Paleogene; 7 – tectonic faults; 8 – ore zones

Изотопно-минералогическая характеристика руд. Рудная минерализация на месторождении распределена в виде вкраплений, гнезд и прожилков сульфидов – пирита, арсенопирита, сфалерита, галенита, халькопирита; минералов серебра – акантита, пирираргирита, полибазита, стефанита, фрейбергита, элетрума, самородного серебра. Основным нерудным минералом зон является кварц. Присутствуют также гидрослюда, серицит, адуляр и хлорит, в меньшей степени – монтмориллонит, каолинит. Выделяется две основные генерации кварца. Пер-

вая представлена крупно-среднезернистым друзовидным кварцем и развита на флангах рудных зон. Вторая по объему значительно уступает первой и находится в ассоциации с адуляром, серецитом и хлоритом.

Остановимся более детально на самых распространенных рудных минералах месторождения. Арсенопирит встречается в двух морфологических разновидностях. Первый (арсенопирит I) образует густую вкрапленность кристаллически-зернистых агрегатов с размером зерен от тысячных до первых долей миллиметра. Наиболее распространены кри-

сталлы арсенопирита ромбовидного и тонкопризматического габитуса, образующие сложные двойники и сростки. Арсенопирит I является самым ранним сульфидом, что следует из его взаимоотношений с пиритом, сульфидами Zn, Pb, Cu и минералами серебра. В некоторых рудных зонах присутствуют зональные арсенопириты, центральная часть которых отличается повышенным содержанием сурьмы (рис. 2б). Средняя микротвердость арсенопирита I составляет 750 кгс/мм, что является несколько пониженной величи-

ной относительно стандартных данных. Возможно, это связано с входжением в его кристаллическую решетку сурьмы. Арсенопирит I подвергся частичному замещению акантитом и скородитом (рис. 2а, 2в). Арсенопирит II образует мелкие идиоморфные кристаллы в кварцевом матриксе в непосредственной близости от серебросодержащих минералов. Его образование, вероятно, происходило в период отложения серебро-акантит-сульфосольной ассоциации [9; 11].

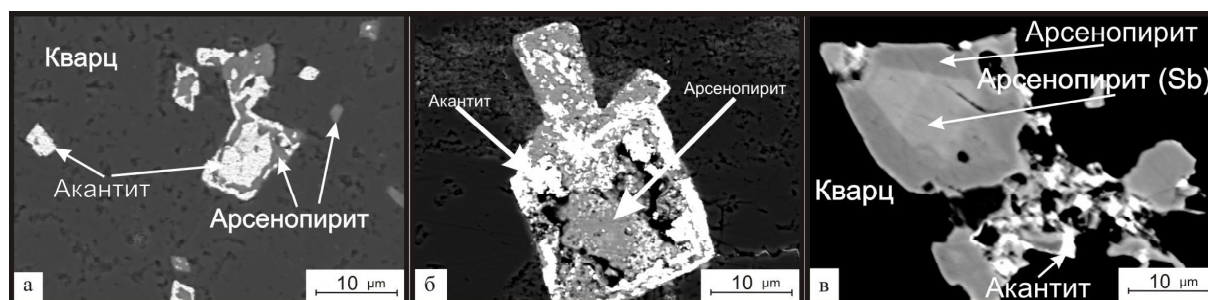


Рис. 2. Взаимоотношение арсенопирита и акантита (а, б), зональный арсенопирит: центральная часть кристалла – сурьмянистый арсенопирит (в) / Fig. 2. The relationship of arsenopyrite and acanthite (а, б), zonal arsenopyrite: central part of the crystal is antimony arsenopyrite (в)

Пирит широко распространен в гнездобразных скоплениях сульфидов. При этом количественные соотношения пирита и арсенопирита заметно варьируют. Выделяется две генерации пирита. Пирит первой генерации образует вкрапленность кристаллов кубического габитуса размером от тысячных до десятых долей миллиметра. Наиболее интенсивные участки развития пирита наблюдаются в призальбандовых частях жил. Скопления пирита нередко содержат мельчайшие включения акантита, пираргирита, полибазита,

фрейбергита, не превышающие тысячные доли миллиметра (рис. 3а, 3в). Весьма показательно присутствие редкого минерала, содержащего селен – авгиларита (рис. 3б) [10]. Микротвердость пирита первой генерации равна 1373 кгс/мм². По химическому составу зерна пирита стехиометричны, из элементов-примесей в незначительных количествах присутствует лишь мышьяк (0,45 мас. %). Пирит второй генерации встречается редко в виде включений субмикронных размеров в серебро-сурьмяных сульфосолях.

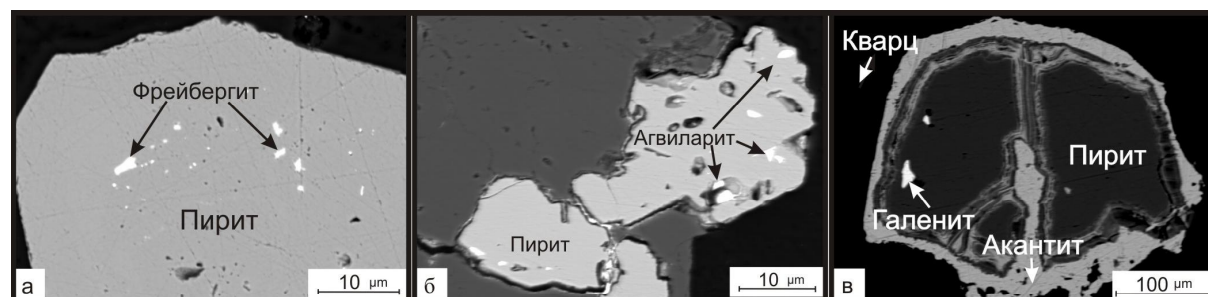


Рис. 3. Включения фрейбергита и агиларита в пирите (а, б), кайма акантита по пириту (в) / Fig. 3. Inclusions of freibergite and agilarite in pyrite (а, б), acanthite rim of pyrite (в)

Сфалерит наблюдается в виде сетчатых образований в кварцевом матриксе. Его мелкие прожилковидные включения встречаются в пирите первой генерации, халькопирите и галените. Средняя микротвердость сфалерита 246 кгс/мм².

Впервые для серебросодержащих рудных зон Кумирного месторождения проведены изотопные исследования серы сульфидов. Полученные данные показывают, что состав серы имеет узкий интервал вариаций – 2,0...2,8 ‰, что соответствует метеоритному стандарту. Это указывает на высокую однородность рудообразующих гидротермальных растворов, участвовавших в образовании серебросодержащих рудных зон месторождения.

Полученные результаты хорошо согласуются с изотопными данными по сере сульфидов золото-серебряных месторождений, расположенных в окраинно-континентальных вулканоплутонических поясах (ВПП). К ним относятся месторождения Дукат, Многовершинное, Сергеевское [1; 7; 8]. Дукат и Сергеевское располагаются в Охотско-Чукотком ВПП, Многовершинное (как и Кумирное) – в Сихотэ-Алиньском ВПП. Изотопные данные по сере Многовершинного (-6...2 ‰), Серге-

евского (-5...9 ‰), Дукатского (-11...12 ‰) месторождений укладываются в широкий интервал значений [4; 8]. В этот интервал и попадают данные Кумирного месторождения (2...2,8 ‰). Образование перечисленных месторождений происходило в мел-палеогеновое время [2; 3; 8]. Возраст Кумирного месторождения составляет 47 ± 64 млн лет, что также соответствует позднему мелу-палеогену.

Заключение. Рудные тела Кумирного месторождения сложены кварцем, гидрослюдой, серицитом, адуляром, хлоритом, монтмориллонитом и каолинитом. Рудная минерализация представлена вкраплениями и прожилками пирита, арсенопирита, сфалерита, галенита, халькопирита и серебросодержащих минералов: акантита, пирираргирита, полибазита, стефанита, фрейбергита, селенсодержащего агвиларита, элетрума. Изотопные характеристики серы сульфидов рудных зон (2...2,8 ‰), близкие к метеоритному стандарту, позволяют предположить, что в образовании Кумирного месторождения серебра участвовали глубинные флюиды, вероятно связанные с мантийным источником.

Список литературы

1. Вагина Е. А. Изотопный состав серы сульфидов руд золотого месторождения Чертово Корыто (Патомское нагорье) // Вестник Томского государственного университета. 2011. № 353. С. 195–198.
2. Вартанян С. С., Новиков В. П. Золото-серебряные месторождения вулканоплутонических поясов // Руды и металлы. 2015. № 1. С. 14–29.
3. Волков А. В., Колова Е. Е., Савва Н. Е., Сидоров А. А., Прокофьев В. Ю., Али А. А. Условия формирования богатых золото-серебряных руд эпитептермального месторождения Тихое (Северо-Восток России) // Геология рудных месторождений. 2016. Т. 58, № 5. С. 476–491.
4. Дубинина Е. О., Филимонова Л. Г., Коссова С. А. Изотопные ($\delta^{34}\text{S}$, $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$) характеристики вкрапленной минерализации магматических пород Дукатского рудного поля (Северо-Восток России) // Геология рудных месторождений. 2019. Т. 61, № 1. С. 39–51.
5. Ивин В. В., Медведев Е. И., Фатьянов И. И. Минералого-геохимическая типизация и зональность многометалльно-серебряного оруденения Нижне-Таежного рудного узла (Северное Приморье) // Успехи современного естествознания. 2018. № 5. С. 76–81.
6. Ивин В. В., Родионов А. Н., Медведев Е. И., Фатьянов И. И. Особенности размещения разнотипного по формационной принадлежности благороднометалльного оруденения Приморья и его ресурсный потенциал // Успехи современного естествознания. 2017. № 8. С. 80–88.
7. Константинов М. М., Косовец Т. Н. Характеристика вариаций изотопного состава серы сульфидов золото-серебряных месторождений Фанерозоя // Геохимия. 2011. № 9. С. 939–956.
8. Кравцова Р. Г., Тарасова Ю. И., Макшаков А. С., Павлова Л. А. Особенности распределения и формы нахождения золота, серебра и сопутствующих элементов в потоках рассеяния золото-серебряных зон Дукатского месторождения (Северо-Восток России) // Геология и геофизика. 2016. Т. 57, № 4. С. 676–698.
9. Нишанбаев Т. П., Рассомахин М. А., Шиловских В. В. Образование акантита Ag_2S на самородном и техническом серебре // Минералогия. 2015. № 3. С. 31–35.

10. Пальянова Г. А., Кравцова Р. Г., Журавкова Т. В. Твердые растворы $Ag_2(S, Se)$ в рудах золото-серебряного месторождения Роговик (Северо-Восток России) // Геология и геофизика. 2015. Т. 56, № 12. С. 2198–2211.

11. Файзиев А. Р., Файзиев Ф. А. Рудноформационные типы серебряных месторождений Таджикистана // Известия Академии наук Республики Таджикистан. Отделение физико-математических, химических, геологических и технических наук. 2015. № 3. С. 92–99.

References

1. Vagina E. A. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta* (Tomsk State University Bulletin), 2011, no. 353, pp. 195–198.

2. Vartanyan S. S., Novikov V. P. *Rudy i metally* (Ores and metals), 2015, no. 1, pp. 14–29.

3. Volkov A. V., Kolova E. E., Savva N. E., Sidorov A. A., Prokofiev V. Yu., Ali A. A. *Geologiya rudnyh mestorozhdeniy* (Geology of ore deposits), 2016, vol. 58, no. 5, pp. 476–491.

4. Dubinina E. O., Filimonova L. G., Kossova S. A. *Geologiya rudnyh mestorozhdeniy* (Geology of ore deposits), 2019, vol. 61, no. 1, pp. 39–51.

5. Ivin V. V., Medvedev E. I., Fatyanov I. I. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* (Successes in modern natural science), 2018, no. 5, pp. 76–81.

6. Ivin V. V., Rodionov A. N., Medvedev E. I., Fatyanov I. I. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* (Successes in modern natural science), 2017, no. 8, pp. 80–88.

7. Konstantinov M. M., Kosovets T. N. *Geohimiya* (Geochemistry), 2011, no. 9, pp. 939–956.

8. Kravtsova R. G., Tarasova Yu. I., Makshakov A. S., Pavlova L. A. *Geologiya i geofizika* (Geology and geophysics), 2016, vol. 57, no. 4, pp. 676–698.

9. Nishanbaev T. P., Rassomakhin M. A., Shilovskikh V. V. *Mineralogiya* (Mineralogy), 2015, no. 3, pp. 31–35.

10. Palyanova G. A., Kravtsova R. G., Zhuravkova T. V. *Geologiya i geofizika* (Geology and Geophysics), 2015, vol. 56, no. 12, pp. 2198–2211.

11. Fayziev A. R., Fayziev F. A. *Izvestiya Akademii nauk Respubliki Tadjikistan. Otdelenie fiziko-matematicheskikh, himicheskikh, geologicheskikh i tekhnicheskikh nauk* (News of the Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan. Department of physico-mathematical, chemical, geological and technical sciences), 2015, no. 3, pp. 92–99.

Коротко об авторах

Ивин Виталий Викторович, канд. геол.-минер. наук, ст. науч. сотрудник, лаборатория нелинейной металлогении, Дальневосточный геологический институт Дальневосточного отделения РАН, г. Владивосток, Россия. Область научных интересов: полиметалльно-серебряные, серебряные месторождения зон перехода континент океан
ivin_vv@mail.ru

Медведев Евгений Иванович, науч. сотрудник, лаборатория нелинейной металлогении, Дальневосточный геологический институт Дальневосточного отделения РАН, г. Владивосток, Россия. Область научных интересов: золото коренное, золото россыпное, углеродсодержащие породы, минералого-геохимические исследования
Sage21@mail.ru

Фатьянов Игорь Иванович, канд. геол.-минер. наук, ст. науч. сотрудник, лаборатория нелинейной металлогении, Дальневосточный геологический институт Дальневосточного отделения РАН, г. Владивосток, Россия. Область научных интересов: месторождения благородных металлов и условия их формирования
Igor.1937@list.ru

Briefly about the authors

Vitaliy Ivin, candidate of geological sciences, senior researcher, Nonlinear Metallogeny laboratory, Far Eastern Geological Institute of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russia. Sphere of scientific interests: polymetallic, silver, silver deposits transition zones continent ocean

Evgenii Medvedev, researcher officer, Nonlinear Metallogeny laboratory, Far Eastern Geological Institute of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russia. Sphere of scientific interests: vein gold, alluvial gold, carbonaceous rocks, mineralogical and geochemical studies

Igor Fatyanov, candidate of geological sciences, senior scientist, Nonlinear Metallogeny laboratory, Far Eastern Geological Institute of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russia. Sphere of scientific interests: Deposits of precious metals and the conditions of their formation

Образец цитирования

Ивин В. В., Медведев Е. И., Фатьянов И. И. Изотопно-минералогическая характеристика руд Кумирного месторождения серебра (Приморье) // Вестник Забайкальского государственного университета. 2019. Т. 25, № 9. С. 6–12. DOI: 10.21209/2227-9245-2019-25-9-6-12.

Ivin V., Medvedev E., Fat'ynov I. Isotopic and mineralogical character of silver ore deposit Kumirnoe (Primorie) // Transbaikal State University Journal, 2019, vol. 25, no. 9, pp. 6–12. DOI: 10.21209/2227-9245-2019-25-9-6-12.

Статья поступила в редакцию: 02.09.2019 г.

Статья принята к публикации: 05.11.2019 г.