

## Серебро в минералах меди Народинского уран-медного проявления (Приполярный Урал)

©2022 Н. Ю. Никулова✉, О. В. Гракова

*Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН,  
Первомайская, 54, 167982, Сыктывкар, Российская Федерация*

### Аннотация

**Введение:** В Кожимском районе Приполярного Урала минералы меди широко распространены в породах различного генезиса, состава и возраста. Во всех проявлениях медной минерализации вмещающие породы характеризуются повышенным содержанием серебра. Целью работы является установление типоморфных и геохимических особенностей серебросодержащих сульфидов и оксидов меди.

**Методика:** Изучены морфологические особенности и химический состав минералов меди и серебра из Народинского уран-медного рудопроявления в зоне контакта магматических пород фундамента и метатерригенных нижнеордовикских отложений методом EPMA (электронно-зондового микроанализа).

**Результаты и обсуждение:** Основным минералом-концентратом серебра является ранее неизвестный на Приполярном Урале серебросодержащий ковеллин. Также серебро образует микровключения акантита в малахите и лангите. Мы полагаем, что в нашем случае могла иметь место физико-химическая модель образования гипергенных минералов серебра при участии щелочных «гранодиоритовых» или «базальтовых» вод, формирующихся при взаимодействии атмосферных вод с соответствующими породами. Стадийность минералообразования хорошо иллюстрирует пример образца, в котором исходный халькопирит с незначительным содержанием серебра, в результате окисления в зоне гипергенеза преобразовался в ковеллин и малахит. На близких к поверхности и трещиноватых участках зерен преобразования привели к высвобождению серебра и появлению акантита и самородного серебра.

**Заключение:** Установлены формы нахождения серебра в минералах меди Народинского уран-медного рудопроявления в зоне контакта магматических пород фундамента и метатерригенных нижнеордовикских отложений. Впервые на Приполярном Урале обнаружен серебросодержащий ковеллин. Сделано предположение, что серебросодержащий ковеллин и сульфиды серебра образовались в результате его высвобождения при замещении сульфидов меди малахитом и лангитом в результате гипергенного окисления.

**Ключевые слова:** серебро, ковеллин, уран-медное рудопроявление, Приполярный Урал.

**Для цитирования:** Никулова Н. Ю., Гракова О. В. Серебро в минералах меди Народинского уран-медного проявления (Приполярный Урал) // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология*. 2023. № 3. С. 141-145. DOI: <https://doi.org/10.17308/geology/1609-0691/2023/3/141-145>

### Введение

В Кожимском районе Приполярного Урала сульфиды меди (пирит, борнит и халькопирит) широко распространены в породах различного генезиса, состава и возраста. Они являются основными минера-

лами-носителями меди в стратиформных рудопроявлениях формации медистых песчаников, приуроченных к основанию разреза саледской свиты. В заметных количествах сульфиды меди присутствуют также в рудопроявлениях молибден-вольфрамовой



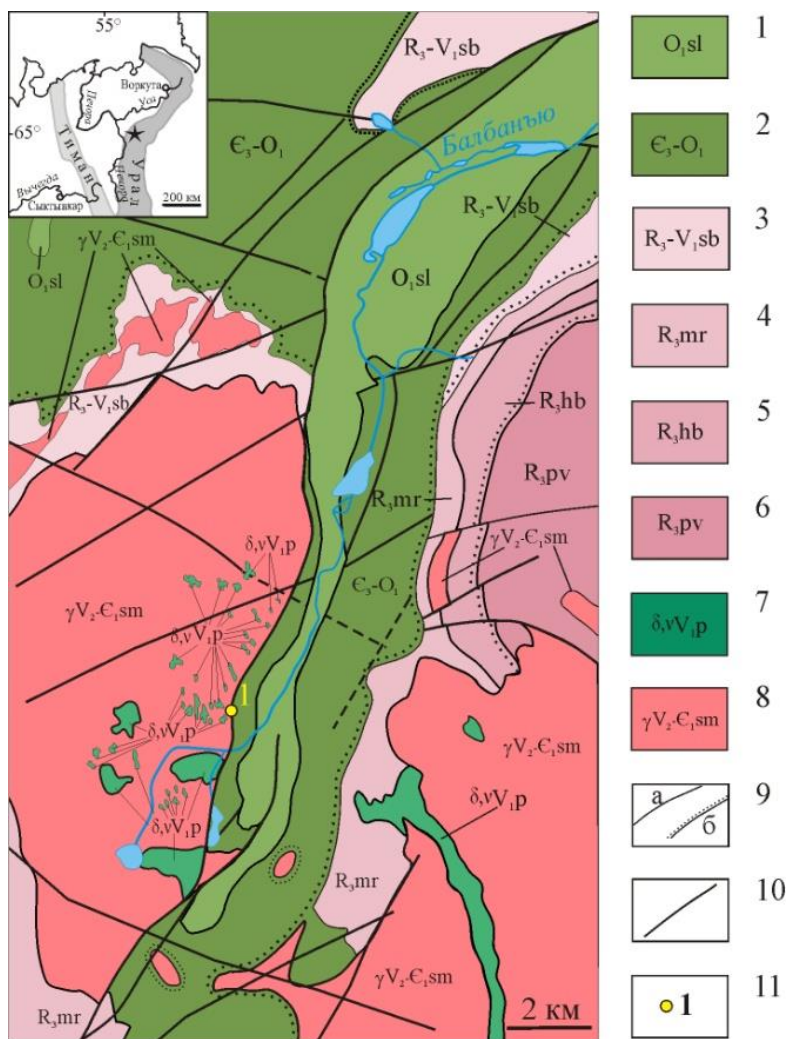
Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

✉ Никулова Наталия Юрьевна, e-mail: [Nikulova@geo.komisc.ru](mailto:Nikulova@geo.komisc.ru)

грейзеново-гидротермального генетического типа, молибденовой и медно-урановой гидротермального плутоногенного генетического типа рудных формаций. По данным геолого-съемочных работ, с помощью полуквантитативного спектрального анализа установлено, что во всех проявлениях медной минерализации вмещающие породы характеризуются повышенным содержанием серебра [1]. Основными минералами-концентраторами серебра считаются пирит, сфалерит, халькопирит, галенит, борнит, халькозин и блеклые руды [2]. Целью работы является установление типоморфных и геохимических особенностей серебросодержащих сульфидов и оксидов меди.

### Геологическое положение Народинского рудопроявления

Уран-медное рудопроявление, расположенное на восточном склоне хр. Малдынырд, вблизи оз. Мал. Балбанты в зоне крупного субмеридионального разлома и приурочено к тектоническому контакту слагающих северную часть Народинского массива гранитов сальнерско-маньхамбовского ( $\gamma V_2-C_1sm$ ) комплекса, ксенолитов или интродуцированных более поздними гранитами тел габбро и габбродолеритов базальт-долеритовой формации парнукского ( $\delta, vV_2p$ ) комплекса, и нижнепалеозойской obeизской песчанико-гравелитовой толщи (рис. 1).



**Рис. 1.** Схема геологического строения южной части хр. Малдынырд, с изменениями (по: [1]): 1 – салецкая свита: песчаники, алевролиты, сланцы; 2 – obeизская свита: метаконгломераты, метагравелиты, метапесчаники; 3 – салегорская свита: риолиты, туфы и лавобрекчии кислого состава; 4 – мороинская свита: сланцы, алевросланцы, метаалевролиты; 5 – хобеинская свита: кварциты, метапесчаники, метаалевролиты, сланцы; 6 – пуйвинская свита: сланцы, доломиты, кварциты; 7 – парнукский комплекс: габбро, габбродолериты; 8 – сальнерско-маньхамбовский комплекс: лейкограниты, гранит-порфиры; 9 – геологические границы: а – согласные и границы интрузивных тел; б – несогласные; 10 – разломы; 11 – место отбора пробы.

[Fig.1. Schematic geological map of the southern part of the Maldynyrd ridge, with changes: (according to: [1]): (1) – Saled Formation: sandstones, siltstones, shales; (2) – Obeiz Formation: metaconglomerates, metagavelites, metapeschanics; (3) – Sablegorskaya formation: rhyolites, tuffs and lavobreccias of acid composition; (4) – Moroininskaya formation: shales, siltstones, metaaleurolites, shales; (5) – Hobeinskaya formation: quartzites, metapeschanics, metaaleurolites, shales; (6) – Puivinskaya formation: shales, dolomites, quartzite; (7) – Parnuksky complex: gabbro, gabbrodolerites; (8) – Salner-Mankhambovsky complex: leucogranites, granite-porphyry; (9) – geological boundaries: between units with conformable bedding, and boundaries of intrusive bodies (a), unconformity (b); (10) – faults; (11) – sampling site.]

В породах широко проявлены процессы расланцевания и катаклаза. Минерализованная зона, мощностью около 10 м, протягивается вдоль межформационного контакта в субмеридиональном направлении в породах обоих структурных этажей. В расланцованных гравелитах обеизской свиты и гранитах сальнерско-маньхамбовского комплекса медная минерализация представлена рассеянной вкрапленностью халькопирита, халькозина, борнита, пирита и вторичными минералами: пленками медной зелени, малахитом, азуритом, лангитом. Нами были отобраны и изучены четыре минералогических пробы из содержащих макроскопически различимые минералы меди и пленки медной зелени расланцованных гранитов и три пробы из гравелитов обеизской свиты.

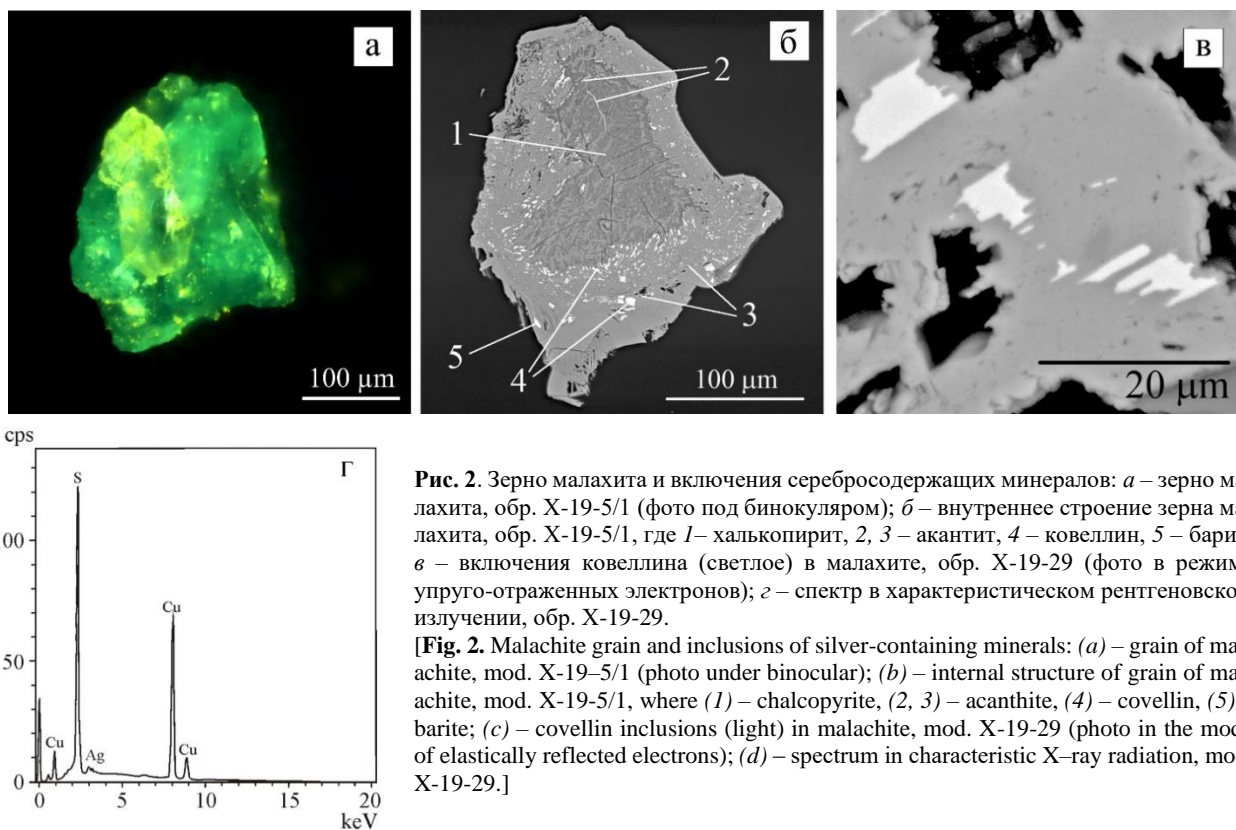
### Материалы и методы

Изучение морфологических особенностей и химического состава минералов меди проводилось в ЦКП «Геонаука» Института геологии Коми НЦ УрО РАН (г. Сыктывкар) с помощью сканирующего электронного микроскопа TESCAN VEGA3 LMN с энерго-дисперсионной приставкой X-MAX 50 mm Oxford instruments при ускоряющем напряжении 20 кВ, диаметре зонда

180 нм и области возбуждения до 5 мкм (аналитик Е. М. Тропников), и сканирующего электронного микроскопа JSM-6400 с энергетическим спектрометром Link, с ускоряющим напряжением и током на образцах – 20 кВ и  $2 \times 10^{-9}$  А соответственно и сертифицированными стандартами фирмы «Microspes» (аналитик В. Н. Филиппов).

### Типоморфные и геохимические особенности серебросодержащих минералов

Серебро образует микровключения акантита в малахите и лангите (рис. 2 а, б), а также присутствует в виде изоморфной примеси в ковеллине (рис. 2 в, г). Наиболее часто встречающимся серебросодержащим минералом меди является ковеллин, представленный пластинчатыми зернами и субпараллельными агрегатами размером до 10 мкм, следующего состава (мас. %): Ag 0.38–2.65, S 30.40–32.35, Fe 0.16–0.25, Cu 63.87–66.93. В структуру ковеллина, зерна которого имеют однородное строение (рис. 2 в), серебро входит в качестве изоморфной примеси, замещая двухвалентную медь. Общая кристаллохимическая формула серебросодержащего ковеллина имеет вид:  $\text{Cu}_{0.97-1.05}\text{Ag}_{0.01-0.02}\text{S}$ .



**Рис. 2.** Зерно малахита и включения серебросодержащих минералов: а – зерно малахита, обр. X-19-5/1 (фото под бинокляром); б – внутреннее строение зерна малахита, обр. X-19-5/1, где 1 – халькопирит, 2, 3 – акантит, 4 – ковеллин, 5 – барит; в – включения ковеллина (светлое) в малахите, обр. X-19-29 (фото в режиме упруго-отраженных электронов); г – спектр в характеристическом рентгеновском излучении, обр. X-19-29.

**[Fig. 2.** Malachite grain and inclusions of silver-containing minerals: (a) – grain of malachite, mod. X-19-5/1 (photo under binocular); (b) – internal structure of grain of malachite, mod. X-19-5/1, where (1) – chalcopyrite, (2, 3) – acanthite, (4) – covellin, (5) – barite; (c) – covellin inclusions (light) in malachite, mod. X-19-29 (photo in the mode of elastically reflected electrons); (d) – spectrum in characteristic X-ray radiation, mod. X-19-29.]

Присутствие нескольких содержащих серебро минералов обнаружено в сложно построенном зерне обр. X-19-5-1 (рис. 2 а, б). Внутренняя часть зерна сложена халькопиритом, а внешняя – малахитом, содержащем единичные зерна барита и многочисленные повторяющие контур внутреннего зерна концентрические цепочки микрозерен серебросодержащего ковеллина. К

внешнему контуру «ковеллиновых» цепочек приурочены микрозерна акантита (?), состав которых ввиду малых размеров определяется как (мас. %): Ag 32.26–47.95, S 7.54–8.24, Fe 0–0.46, Cu 19.45–28.81, O 19.74–22.1. Микротрещины в центральной, халькопиритовой, части зерна выполнены серебросодержащей фазой (мас. %): Ag 18.38, S 1.80, Fe 16.79, Cu 22.76, Al 2.75,

Si 1.24; O 18.45. В обр. X-19-5/9 из гравелита обейской свиты и X-19-1/5 из рассланцованного гранита установлены включения с составами (мас. %): Ag 71.55 и 67.67, S 4.73 и 13.03, Fe 0.00 и 2.63, Cu 8.23 и 2.53, O 14.46 и 8.40 соответственно.

### Обсуждение результатов

Физико-химическая модель образования гипергенных минералов серебра при участии щелочных «гранодиоритовых» или «базальтовых» вод, формирующихся при взаимодействии атмосферных вод с соответствующими породами, разработана Н. Е. Саввой и соавторами [3, 4]. Мы полагаем, что аналогичный механизм мог иметь место и в нашем случае. Стадийность минералообразования хорошо иллюстрирует пример обр. X-19-5/1 (рис. 2 б), в котором исходный халькопирит с незначительным (меньше чувствительности микрозонда) содержанием серебра, в результате окисления в зоне гипергенеза преобразовался в ковеллин и малахит. На близких к поверхности и трещиноватых участках зерен преобразования привели к высвобождению Ag и появлению акантита и самородного серебра. Основным минералом-концентратором серебра является ранее не известный на Приполярном Урале серебросодержащий ковеллин.

### Заключение

Установлены формы нахождения серебра в минералах меди Народинского уран-медного рудопроявления в зоне контакта магматических пород фундамента и метатерригенных нижнеордовикских отложений. Впервые на Приполярном Урале обнаружен серебро-

содержащий ковеллин. Наиболее вероятно, что серебросодержащий ковеллин и сульфиды серебра образовались в результате высвобождения серебра при замещении сульфидов меди малахитом и лангитом в результате гипергенного окисления.

*Работа выполнена в рамках тем государственного задания ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН «Осадочные формации: вещество, седиментация, литогенез, геохимия, индикаторы литогенеза, реконструкция осадконакопления» (122040600013-9) и «Глубинное строение, геодинамическая эволюция, взаимодействие геосфер, магматизм, метаморфизм и изотопная геохронология Тимано-Североуральского литосферного сегмента» (122040600012-2)*

*Конфликт интересов:* Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200000. Издание второе. Серия Северо-Уральская. Лист Q-41-XXV. Объяснительная записка. М.: ВСЕГЕИ. 2013. 252 с.
2. Сокерин М. Ю. Общие закономерности развития серебряного оруденения Полярного и Приполярного Урала // *Геология и минерально-сырьевые ресурсы еропейского северо-востока России*. Сыктывкар: Геопринт. 2004. С. 88–92.
3. Савва Н. Е., Пальянова Г. А., Колова Е. Е. Минералы золота и серебра в зоне вторичного сульфидного обогащения (рудопроявление Крутое, Северо-Восток России). *Вестник СВНЦ ДВО РАН*. 2010. № 1. С. 33–45.
4. Пальянова Г. А., Савва Н. Е. Особенности генезиса сульфидов золота и серебра месторождения Юное (Магаданская область, Россия) // *Геология и геофизика*. 2009. Т. 50. № 7. С. 759–777.

UDC 549.01

DOI: <https://doi.org/10.17308/geology/1609-0691/2023/3/141-145>

Received: 31.07.2023

Accepted: 11.09.2023

Published online: 29.09.2023

ISSN 1609-0691

## Silver in the copper minerals of the Narodinsky uranium-copper occurrence (Subpolar Urals)

©2022 N. Yu. Nikulova✉, O. V. Grakova

*Institute of Geology, FIC Komi Scientific Center, Ural Branch, Russian Academy of Sciences, 54 Pervomayskaya st., 167982, Syktyvkar, Russian Federation*

### Abstract

*Introduction:* In the Kozhim region of the Subpolar Urals, copper minerals are widespread in rocks of various genesis, composition, and age. In all manifestations of copper mineralization, the host rocks are characterized by an increased content of silver. This study aimed to establish the typomorphic and geochemical features of silver-bearing sulphides and copper oxides.



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

✉ Natalia Yu. Nikulova, e-mail: [Nikulova@geo.komisc.ru](mailto:Nikulova@geo.komisc.ru)

**Methods:** The morphological features and chemical composition of copper and silver minerals from the Narodinsky uranium-copper ore occurrence in the zone of contact between basement igneous rocks and metaterrigenous Lower Ordovician deposits were studied by EPMA (electron probe microanalysis).

**Results and discussion:** The main silver-concentrating mineral is silver-bearing covellite, previously unknown in the Subpolar Urals. Silver also forms microinclusions of acanthite in malachite and langite. We suggested that in this case, a physicochemical model for the formation of supergene silver minerals with the participation of alkaline "granodiorite" or "basalt" waters formed by the interaction of atmospheric waters with the corresponding rocks could occur. The staging of mineral formation is well illustrated by an example of a sample in which the original chalcopyrite with an insignificant content of silver was transformed into covellite and malachite as a result of oxidation in the hypergenesis zone. In close to the surface and fractured areas of the grains, transformations led to the release of silver and the appearance of acanthite and native silver.

**Conclusions:** The forms of occurrence of silver in copper minerals of the Narodinsky uranium-copper ore occurrence in the zone of contact between magmatic rocks of the basement and metaterrigenous Lower Ordovician deposits have been established. Silver-bearing covellite was discovered for the first time in the Subpolar Urals. It has been suggested that silver-bearing covellite and silver sulphides were formed as a result of its release when copper sulphides were replaced by malachite and langite as a result of hypergene oxidation.

**Keywords:** silver, covellite, uranium-copper occurrence, Subpolar Urals.

**For citation:** Nikulova N. Yu., Grakova O. V. Silver in the copper minerals of the Narodinsky uranium-copper occurrence (Subpolar Urals) // *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya –Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 2023, no. 3, pp. 141-145. DOI: <https://doi.org/10.17308/geology/1609-0691/2023/3/141-145>

**Conflict of interests:** The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

#### REFERENCES

1. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiiskoi federatsii masshtaba 1:200000. *Izдание vtoroe. Seriya Severo-Ural'skaya. List Q-41-XXV. Ob'yasnitel'naya zapiska* [State geological map of the Russian Federation. Scale 1: 200000. Second edition. Severo-Uralskaya series. Sheet Q-41-XXV. Explanatory note]. Moscow: VSEGEI publ., 2013, 252 p. (In Russ.)
2. Sokerin M. Yu. Obshchie zakonomernosti razvitiya serebryanogo orudneniya Polyarnogo i Pripolyarnogo Urala [General regularities of the development of silver mineralization of the Polar and Circumpolar Urals]. *Geologiya i mineral'nosyr'vye resursy eropeiskogo severo-vostoka Rossii – Geology and mineral resources of the Eropey server-East of Russia*, Syktyvkar: Geoprint publ., 2004, pp. 88–92 (In Russ.)
3. Savva N. E., Palyanova G. A., Kozlova E. E. Mineraly zolota i serebra b zone sulfidnogo obogatcheniya (rudoproyablenie Krutoe, Severo-Vostok Rosssii) (Minerals of gold and silver in the zone of secondary sulfide enrichment [Krutoe ore occurrence, North-East of Russia]). *Vestnik SVNTs DVO RAN – Bulletin of the SVNTS FEB RAN*, 2010, no. 1, pp. 33–45 (In Russ.)
4. Pal'yanova G. A., Savva N. E. Osobennosti genezisa kul'fidov zolota i serebra mestorozhdeniya Yunoe (Magadanskaya oblast', Rossiya) [Features of the genesis of gold and silver sulfides of the Yunoye deposit (Magadan region, Russia)] *Geologiya i geofizika – Geology and Geophysics*, 2009, vol. 50, no. 7, pp. 759–777 (In Russ.)

*Николова Наталья Юрьевна*, д. г.-м. н., в.н.с., Институт геологии им. академика Н.П. Юшкина ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Российская Федерация; e-mail: [Nikulova@geo.komisc.ru](mailto:Nikulova@geo.komisc.ru); ORCID 0000-0002-1511-6124

*Гракова Оксана Васильевна*, к. г.-м. н., н.с., Институт геологии им. академика Н.П. Юшкина ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Российская Федерация; e-mail: [ovgrakova@geo.komisc.ru](mailto:ovgrakova@geo.komisc.ru); ORCID 0000-0001-5917-9218

*Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.*

*Natalia Yu. Nikulova*, PhD, Dr. habil. in Geol.-Min., Senior Research Fellow, Institute of Geology, FIC Komi Scientific Center, Ural Branch, Russian Academy of Sciences, Syktyvkar, Russian Federation; e-mail: [Nikulova@geo.komisc.ru](mailto:Nikulova@geo.komisc.ru); ORCID 0000-0002-1511-6124

*Oksana V. Grakova*, PhD in Geol.-Min., Senior Research, Institute of Geology, FIC Komi Scientific Center, Ural Branch, Russian Academy of Sciences, Syktyvkar, Russian Federation; e-mail: [ovgrakova@geo.komisc.ru](mailto:ovgrakova@geo.komisc.ru); ORCID 0000-0001-5917-9218

*Authors have read and approved the final manuscript.*