МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ И ИЗОТОПНО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЗОЛОТОРУДНЫХ ПРОЯВЛЕНИЙ ЕНГАНЕПЭ-МАНИТАНЫРДСКОГО РАЙОНА (ПОЛЯРНЫЙ УРАЛ)

Т. П. Майорова^{1,2}, К. С. Устюгова²

¹Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар
mayorova@geo.komisc.ru

²Сыктывкарский госуниверситет им. Питирима Сорокина, Сыктывкар
zelenika@list.ru

Приведены результаты минералого-геохимических и изотопных исследований руд золотосульфидных проявлений Верхненийяуское-2 (Полярная зона) и Нияхойское-2, зон сульфидизации участка Двойной (хребет Манитанырд) и хребта Енганепэ на Полярном Урале методами рентгеновской микротомографии, электронной микроскопии, рентгеноспектрального (микронзондового), изотопного и ICP-MS-анализов. Установлены размеры, характер распределения и состав золотин в рудах Полярной зоны месторождения Верхненийяуское-2, изотопный состав серы сульфидов основных золоторудных объектов и вмещающих их пород Нияю-Нияхойского рудного узла и хребта Енганепэ. Рассмотрен вопрос об источниках серы сульфидов и некоторых параметрах рудообразования.

Ключевые слова: *месторождения золота, зоны сульфидизации, минералогия и геохимия золота, изотопия серы, Полярный Урал.*

MINERALOGICAL AND ISOTOPE GEOCHEMISTRY OF GOLD ORE OCCURRENCES IN ENGANEPE-MANITANYRD AREA (POLAR URALS)

T. P. Mayorova^{1,2}, K. S. Ustyugova²

¹Institute of Geology, Komi Science Centre, UB RAS, Syktvykar

²Syktvykar State University named after P. Sorokin, Syktvykar

We present the results of mineralogical, geochemical and isotopic studies of gold-sulphide ore occurrences Verkhneniyayuskoe-2 (Polar zone) and Niyakhoyskoe-2, zones of sulphidation of Dvoynoy area (Manitanyrd Ridge) and Enganepe Ridge in Polar Urals by X-ray microtomography, electron microscopy, X-ray (microprobe), isotopic and ICP-MS-analyses. We determined size, distribution character and composition of gold particles in the ore deposits of Polar Zone Verkhneniyayuskoe-2, isotope composition of sulfur of sulfides in major gold ore objects and their host rocks of Niyayu-Niyakhoysky ore unit and Enganepe Ridge. We considered a question of the sources of sulfur of the sulphides and some parameters of mineralization.

Keywords: *gold deposits, sulphidization zones, mineralogy and geochemistry of gold, sulfur isotopy, Polar Urals.*

Введение

В Енганепэ-Манитанырдском районе Полярного Урала выделяют Нияю-Нияхойский рудный узел, занимающий центральную часть хребта Манитанырд, и золотосодержащие минерализованные зоны в южной части хребта Енганепэ. В Манитанырдском

районе сосредоточены месторождения и проявления золото-кварц-сульфидного типа — Верхненийяуское-1 и -2, Нияхойское-1 и -2 и мелкие рудопоявления (в том числе участок Двойной). Наиболее хорошо изученным является месторождение Верхненийяуское-2 [3], однако и здесь в

2010 г. выявлена новая рудная зона — Полярная, до настоящего времени слабо изученная. На хребте Енганепэ за период 2008—2012 гг. ЗАО «Голд Минералс» установлены минерализованные зоны с самородным золотом [6, 9]. При доизучении золотоносности минерализованных зон и вмещаю-

щих пород Енганепэ-Манитаньрдского района и основных золотопроявлений получены новые данные о минеральном составе руд, золоте, изотопии серы сульфидов, уровне содержания благородных металлов.

Материалы и методы исследования

Объектами нашего исследования являлись различные по природе золотоносные проявления Няю-Нияхойского рудного узла – руды Полярной зоны месторождения Верхняяюское-2, зоны сульфидизации участка Двойной (руч. Извилистый) и хребта Енганепэ (участок Правый Изъявож), а также сульфиды всех перечисленных проявлений.

При выполнении работы использовались методы рентгеновской микротомографии, электронной микроскопии, рентгеноспектрального (микронзондового), изотопного и ICP-MS-анализов.

Микротомографические исследования выполнялись в Казанском (Приволжском) федеральном университете на промышленной микротомографической установке v|tome|x s 240 (GE Phoenix X-ray) при напряжении от 110 до 220 kV и силе тока от 200 до 550 mA с пространственным разрешением 68 мкм. Для воссоздания объёмных моделей образцов рентгеновские проекции обрабатывались в ПО *datos|x reconstruction*. Для визуализации и анализа данных по элементам объёмного изображения использовались ПО *VG Studio MAX 2.1* и *Avizo Fire 7.1*. Электронная микроскопия и рентгеноспектральный анализ проводились в Институте геологии Коми НЦ УрО РАН на электронном сканирующем микроскопе JSM-6400 с энергетическим рентгеновским спектрометром фирмы Link и в Университете Мишкельца на электронном сканирующем микроскопе фирмы ZEISS. ICP-MS-анализ на благородные металлы выполнен в ЦЛ ВСЕГЕИ, изотопный анализ серы – в лаборатории стабильных изотопов ЦКП ДВГИ ДВО РАН на изотопном масс-спектрометре Finnigan MAT 253 (Thermo-Finnigan, Bremen, Germany) с использованием двойной системы напуска по методике В. А. Гриненко [1].

Результаты и обсуждение

На месторождении Верхняяюское-2 наименее изучена выделенная сравнительно недавно Полярная зона

Рис. 1. Морфология золотин: а – крючковатые; б – пластинчатые, в – стержневидные, г – каплевидные

Fig. 1. Morphology of gold particles: a – hamular; б – laminar, в – rod-like, г – drop-like

[2]. Руды этой зоны имеют преимущественно пиритовый состав с подчиненным количеством арсенопирита. Проанализированные нами золотинны (11 знаков), выделенные из рудных протокочек, относятся к тонкому классу крупности. Их размеры близки к 0.1 мм и меньше. Морфология золотин довольно разнообразна, но преобладают пластинчатые выделения с неровными изрезанными краями (рис. 1).

Часто на поверхности золотин наблюдаются многочисленные отпечатки с квадратными сечениями, по-видимому, от минералов кубической формы размером 200–300 нм, на отдельных участках фиксируются признаки коррозии. При микронзондовых исследованиях в золотилах установлены различные включения (рис. 2). Это микровключения породообразующих минералов – серицита и хлорита, реже альбита. Из рудных минералов в виде микровключений часто отмечается сфалерит (рис. 2, а), который образует в том числе и сростки с золотом по его краям. Размер выделений сфалерита около 2 мкм. Из-за малых размеров включе-

ний сфалерита корректно определить его состав без элементов матрицы (золота и серебра) не удастся, но в нем не

Рис. 2. Субмикронные включения сфалерита (а) и арсенопирита (б) в золоте

Fig. 2. Submicron inclusions of sphalerite (a) and arsenopyrite (б) in gold

обнаружено примеси железа, которая характерна для этого минерала других зон месторождения [3]. В нескольких золотилах установлены микровключения арсенопирита (рис. 2, б).

По данным микрозондового анализа свободных частиц золота, в Полярной зоне (рис. 1) преобладает умеренно высокопробное золото 800—900 ‰ (78 %), небольшая доля приходится на высокопробное 900—1000 ‰ (18 %) и незначительно количество золота средней пробы 700—800 ‰ (4 %). В большинстве случаев установлено понижение пробности золота к краю зерен (рис. 3). Основной примесью в золоте является серебро, периодически отмечается ртуть (ч. в. 10 %) с содержанием около 1 мас. %, примесь меди не установлена. По сравнению с другими участками в пределах Полярной зоны золото месторождения Верхнеиняуское-2 (рис. 4) отличается узким интервалом вариаций пробности и по этому признаку может быть сопоставлено с золотом-II халькопирит-галенит-сфалеритовой стадии минералообразования [3].

По данным электронно-микроскопического и микрозондового анализов, золото присутствует в виде микровключений в пирите и арсенопирите (рис. 5), их размер колеблется от 408 нм до 5—10 мкм, редкие выделения достигают 20 мкм. В одном случае обнаружено наноразмерное выделение золота, приуроченное к включению слюды, вероятно серицита в пирите (рис. 5, а). Исследования проводились на сколах арсенопирит-пиритовой руды. В арсенопирите по составу выделяются 2 группы золотинок, встречающиеся примерно в равных количествах: первая имеет высокую пробность (900—1000 ‰), вторая — среднюю пробность (700—800 ‰). Кроме серебра, других примесей в золоте не обнаружено. Сопоставление состава золота показывает, что, вероятно, в арсенопирит-пиритовых рудах Полярной зоны, так же как и в основной рудной залежи месторождения Верхнеиняуское-2, присутствует золото двух стадий минералообразования: золото-I ранней пирит-арсенопиритовой стадии в пирите и арсенопирите (субмикронное, высокопробное и умеренно высокопробное) и золото-II поздней халькопирит-галенит-сфалеритовой стадии (более крупное, высокопробное и умеренно высокопробное, периодически с примесью ртути). Вместе с тем более круп-

Рис. 3. Распределения пробности золота Полярной зоны

Fig. 3. Distribution of gold fineness of the Polar area

Рис. 4. Распределение пробности золота месторождения Верхнеиняуское-2 [3]

Fig. 4. Distribution of fineness of gold deposits of Verhneniyayuskoe-2 deposit [3]

ного золота (более 0.1 мм) пониженной пробности (менее 700 ‰) и с постоянной примесью ртути, характерного для поздней стадии минералообразования месторождения Верхнеиняуского-2, нашими исследованиями пока не обнаружено. Это может быть обусловлено, с одной стороны, недостаточной изученностью минерального состава руд и золота Полярной зоны, а с другой стороны — слабым проявлением на этом участке поздней стадии минералообразования.

Исследования образцов арсенопирит-пиритовой руды Полярной зоны методом рентгеновской микротомографии [4] позволило не только получить трехмерные проекции распределения золота (рис. 6), но и подсчитать количество частиц золота и их объем. В образце руды (рис. 6, а) обнаружено 5517 частиц золота. Соотношение включений золота к общему объему образца — 0.54 %. Средний объем одной частицы — 0.024 мм³, минимальный объем — 0.0018 мм³, максимальный объем —

2.33 мм³, суммарный объем — 132.59 мм³. Общий объем образца — 24711.02 мм³.

При условии, что частицы золота являются сферическими и их линейные размеры равны диаметру сферы, размеры частиц были рассчитаны по формуле $D = (6V/\pi)^{1/3}$, где D — диаметр, V — объем частицы золота. Расчеты показали, что минимальный размер частицы золота — 0.15 мм, максимальный размер — 1.64 мм (в среднем 0.26 мм). Преобладает мелкое золото фракций 0.1—0.25 мм (63 %) и 0.25—0.5 мм (30 %), более крупные золотины, размером более 0.5 мм, немногочисленны (рис. 7).

Анализ результатов по гранулометрии золота, полученных на настоящий момент традиционными гравиметрическими и электронно-микроскопическими методами и методом рентгеновской микротомографии, показывает их относительную сопоставимость. Однако выбранное нами разрешение при проведении исследований

Рис. 5. Субмикронные и микронные выделения золота в пирите (а, б, в) и арсенопирите (г)

Fig. 5. Submicron and micron gold particles in pyrite (а, б, в) and arsenopyrite (г)

недостаточно для фиксации частиц менее 0.1 мм, и для использования данных по объему и количеству частиц золота в руде необходима постановка специальных методических работ.

Для оценки уровня содержания золота и элементов платиновой группы (ЭПГ – Ru, Rh, Ir, Pt, Pd) в минерализованной зоне южной части хребта Енганепэ и участка Двойной (руч. Изви-

листый, Манитанырд) выполнен ICP-MS-анализ пород этих зон. Во всех пробах содержания Ru и Rh, а в половине проб и Ir, ниже чувствительности метода (<0.002 ppm), но в значимых количествах присутствуют Pd, Pt и Au (см. таблицу). Содержание Pd колеблется от 10 до 44 мг/т, Pt – от 7 до 14 мг/т, Au – от 7 до 14 мг/т. Несколько повышенные содержания золота отмечаются в габ-

бро-долеритах участка Двойной и метаэффузиве с примесью пирокластики участка Правый Изъявож (Енганепэ), но в целом метаэффузивные и пирокластические породы слабо различаются между собой.

Полученные содержания золота и палладия, нормированные по земной коре [8], хотя и превышают их кларк почти на порядок (рис. 8), но не явля-

Рис. 6. Трехмерная визуализация пластинки арсенопирит-пиритовой руды (а) и распределение в ней золота (б, в). Разрешение 68 мкм

Fig. 6. Three-dimensional visualization of plate of arsenopyrite-pyrite ore (а) and distribution of gold in it (б, в). Resolution 68 μm

Рис. 7. Распределение частиц золота по объему (а) и размерам (б) в образце арсенопирит-пиритовой руды

Fig. 7. Distribution of gold particles by volume (a) and size (b) in the sample of pyrite-arsenopyrite ore

ются промышленными. Содержания Ir и Pt находятся на уровне кларковых.

Изучение изотопии серы сульфидов золотопроявлений Нияю-Нияхойского района и хребта Енганепэ показывает, что в Полярной зоне месторождения Верхненаяюское-2 с преимущественно золотопиритовыми рудами изотопный состав серы сульфидов (пирит, арсенопирит) лежит в узких пределах вариаций $\delta^{34}\text{S}$ от -1.6 до 2.1 ‰, при этом пирит отличается несколько более облегченной серой (среднее -1.7 ‰), чем арсенопирит (-2.1 ‰). По сравнению с северной и южной зонами этого месторождения вариации $\delta^{34}\text{S}$ пирита Полярной зоны лежат в тех же пределах, а арсенопирит имеет несколько более облегченный состав серы.

На рудопроявлении Нияхойское-2 преобладает золотоарсенопиритовый тип руд с небольшим количеством пирита. В сульфидах этого рудопроявления (арсенопирит, пирит) изотопный состав серы варьирует от -3.9 до -4.7 ‰, причем арсенопирит и пирит по этому признаку не отличаются. По сравнению с месторождением Верхненаяюское-2 в сульфидах рудопроявления Нияхойское-2 наблюдается некоторое облегчение изотопного состава серы. По изотопному составу серы сульфиды рудопроявления Нияхойское-2 занимают среднее положение между Верхненаяюским-2 ($\delta^{34}\text{S} -0.5 \dots -2.6$ ‰) и Верхненаяюским-1 (-7.5 ‰). Таким образом, данные по изотопному составу серы сульфидов основных золоторудных проявлений Нияю-Нияхойского рудного узла еще раз подтверждают их образование в единой гидротермальной системе и наличие зональности.

На всей площади Нияю-Нияхойского рудного района и хребта Енганепэ, включая золотоносную минерализованную зону руч. Правый Изъянов, в вулканогенных и вулканогенно-осадочных породах верхнего ри-

фея-венда широко развита рассеянная пиритовая минерализация. Изотопный состав серы пирита из туфопесчанника участка Двойной (руч. Извилистый), расположенного севернее рудопроявления Нияхойское-2, в наибольшей степени обогащен легким изотопом ($\delta^{34}\text{S} -10.7$ ‰) из всех полученных нами значений. В метаэффузивах и туфопесчанниках бедамельской серии позднего рифея золотоносной минерализованной зоны хребта Енганепэ изотопный состав серы

вкрапленного пирита варьирует в узких пределах от -7.6 до -8.7 ‰ и сопоставим с пиритом глубокого горизонта проявления Верхненаяюское-1 Нияю-Нияхойского рудного узла.

Таким образом, в Нияю-Нияхойском рудном районе и на хребте Енганепэ изотопный состав серы сульфидов как золоторудных проявлений, так и вмещающих пород характеризуется преобладанием легкого изотопа и отрицательными значениями $\delta^{34}\text{S}$. Вместе с тем если в сульфидах вмещающих по-

Содержание благородных металлов в породах минерализованных зон (ppm)

Noble metal content in rocks of mineralized zones (ppm)

№ пробы	Местонахождение / порода	Pd	Ir	Pt	Au
ПК-42/08	Уч-к Двойной, габбро-долерит	0.032	0.0033	0.011	0.013
51033	Енганепэ, тр. 51, инт. 54.7–64.8 м, туф	0.025	<0.002	0.0087	0.0084
51396	Енганепэ, тр. 51, инт. 421.2–425.6 м, метаэффузив с примесью пирокластиков	0.01	<0.002	0.0037	0.014
51401	Енганепэ, тр. 51, инт. 421.2–425.6 м, метаэффузив	0.044	0.0033	0.0079	0.0065

Примечание. Анализы выполнены методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS) в ЦЛ ВСЕГЕИ.

Note. Analyses were made by ICP-MS method in lab of Russian Geological Research institute.

Рис. 8. Распределение благородных металлов в породах минерализованных зон

Fig. 8. Distribution of precious metals in the rocks of mineralized zones

род сильно облегченный состав серы указывает на участие в их образовании источника осадочного происхождения, то в сульфидах золоторудных объектов преобладает сера, по изотопному составу близкая к метеоритному составу [5, 7], что предполагает участие в продуктивном минералообразовании магматической составляющей.

Выводы

1. В арсенопирит-пиритовых рудах Полярной зоны золото присутствует в виде выделений размером около 0.1 мкм, которое можно выделить гравитационными методами, и в виде микровключений в пирите и арсенопирите размерами от 408 нм до 5–10 мкм, редко до 20 мкм. Сопоставление состава золота показывает, что, вероятно, в арсенопирит-пиритовых рудах Полярной зоны, так же, как и в основной рудной залежи месторождения Верхнеиняюское-2, присутствует золото двух стадий минералообразования: золото-I ранней пирит-арсенопиритовой стадии в пирите и арсенопирите (субмикронное, высокопробное и умеренно высокопробное) и золото-II поздней халькопирит-галенит-сфалеритовой стадии (более крупное, высокопробное и умеренно высокопробное, спорадически с примесью ртути). Вместе с тем более крупного золота (более 0.1 мм) пониженной пробности (менее 700 ‰) и постоянной примесью ртути, характерного для поздней стадии минералообразования месторождения Верхнеиняюское-2, нашими исследованиями пока не обнаружено. Это может быть обусловлено, с одной стороны, недостаточной изученностью минерального состава руд и золота Полярной зоны, а с другой стороны – слабым проявлением на этом участке поздней стадии минералообразования.

2. Методом рентгеновской микротомографии получены данные по распределению частиц золота по объему, количеству и относительному содержанию в образце арсенопирит-пиритовой руды. Анализ результатов по гранулометрии золота, полученных на настоящий момент традиционными гравиметрическими и электронно-микроскопическими методами и методом рентгеновской микротомографии, показывает их относительную сопоставимость. Однако выбранное нами разрешение при проведении исследований недостаточно для фиксации частиц менее 0.1 мм, и для ис-

Рис. 9. Вариации изотопного состава серы сульфидов золотопоявлений и минерализованных зон Енганепэ-Манитаньрдского района (APy – арсенопирит, Py – пирит, Sph – сфалерит; цифра в скобках – количество проанализированных проб)

Fig. 9. Variations of isotopic composition of sulfur in sulphides from gold deposits and mineralized zones of Enganepe-Manitanyrd area (APy – arsenopyrite, Py – pyrite, Sph – sphalerite; figure in brackets number of analyzed samples)

пользования данных по объему и количеству частиц золота в руде необходима постановка специальных методических работ.

3. В породах минерализованных зон хребтов Енганепэ и Манитаньрд (метаэффузивах, туфах, габбро-долеритах) содержания золота и палладия на порядок превышают кларк, Ir и Pt находятся на уровне кларка.

4. В Нияю-Нияхойском рудном районе и на хребте Енганепэ изотопный состав серы сульфидов как золоторудных проявлений, так и вмещающих пород характеризуется преобладанием легкого изотопа и отрицательными значениями $\delta^{34}\text{S}$. Вместе с тем если в сульфидах вмещающих пород сильно облегченный состав серы может указывать на участие в их образовании источника осадочного происхождения, то в сульфидах золоторудных объектов преобладает сера, по изотопной характеристике близкая к метеоритному составу, что предполагает участие в продуктивном минералообразовании магматической составляющей.

Авторы выражают ЦКП «Геонаука» благодарность за качественно проведенные аналитические работы.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ и Правительства РК № 13-05-98820 p_север_a.

Литература

1. Гриненко В. А. Приготовление двуокиси серы для изотопного анализа // Журн. неорганической химии. 1962. № 7. С. 2578–2582.
2. Краснов А. Н., Шубин А. Г. Особенности типоморфизма золота из россыпей и рудопоявлений западного склона Полярного Урала // Самоходное золото: типоморфизм минеральных ассоциаций, условия образо-

вания месторождений, задачи прикладных исследований: Материалы Всероссийской конференции (с международным участием), посвященной 100-летию Н. В. Петровской. Москва: ИГЕМ РАН, 2010. Т. I. С. 290–291.

3. Кузнецов С. К., Майорова Т. П., Сокерина Н. В., Филиппов В. Н. Золоторудная минерализация Верхнеиняюского месторождения на Полярном Урале // Записки РМО. 2011. Ч. CXXX. № 4. С. 58–71.

4. Майорова Т. П., Стаценко Е. О., Трифионов А. А., Нестеренко Г. В. Рентгеновская микротомография и автоэмиссионная электронная микроскопия – новые возможности изучения высокодисперсных золотых руд // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2013. № 11. С. 34–38.

5. Омото Х., Рай Р. О. Изотопы серы и углерода // Геохимия гидротермальных рудных месторождений. М.: Мир, 1982. 622 с.

6. Устюгова К. С., Ефанова Л. И., Майорова Т. П. Предпосылки коренной золотоносности кряжа Енганепэ (Полярный Урал) // Геология и минеральные ресурсы Европейского Северо-Востока России: Материалы XVI Геологического съезда Республики Коми. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2014. Т. III. С. 161–164.

7. Фор Г. Основы изотопной геологии. М.: Мир, 1989. 590 с.

8. McDonough W. F. and Sun S.-S. The composition of the Earth // Chemical Geology. 1995. V. 120. P. 223–253.

9. Ustyugova K. E. Typomorphic features of gold on the Enganepe Ridge (Polar Urals) // The 6th International Siberian Early Career GeoScientists Conference: Proceedings of the conference IGM, IPPG SB RAS&NSU. Novosibirsk, 2012. С. 131–132.

References

1. Grinenko V. A. *Prigotovlenie dvoukisi sery dlya izotopnogo analiza* (Preparation of sulphur dioxide for isotope analysis). *Zhurnal neorganicheskoi khimii*, 1962, No. 7, pp. 2578—2582.
2. Krasnov A. N., Shubin A. G. *Oso-bennosti tipomorfizma zolota iz rossypei i rudoproyavlenii zapadnogo sklona Polyarnogo Urala* (Features of typomorphism of gold from placers and ore shows of western slope of the Polar Urals). *Samorodnoe zoloto: tipomorfizm mineral'nykh assotitsiatsii, usloviya obrazovaniya mestorozhdenii, zadachi prikladnykh issledovaniy*. Proceedings of conference. Moscow, IGM RAN, 2010, V.I, pp. 290—291.
3. Kuznetsov S. K., Mayorova T. P., Sokerina N. V., Filippov V. N. *Zolotorudnaya mineralizatsiya Verkhneniyayuskogo mestorozhdeniya na Polyarnom Urale* (Gold mineralization of Verkhneniyayuskoe deposit in the Polar Urals). *Zapiski RMO*, 2011, Ch. CXXXX, No. 4, pp. 58—71.
4. Mayorova T. P., Statsenko E. O., Trifonov A. A., Nesterenko G. V. *Rentgenovskaya mikrotomografiya i avtoemissionnaya elektronnaya mikroskopiya - novye vozmozhnosti izucheniya vysokodispersnykh zolotykh rud* (X-ray microtomography and autoemission electron microscopy — new possibilities of study of high disperse gold ores). *Vestnik of Institute of geology, Komi SC UB RAS*. Syktyvkar, Geoprint, 2013, No. 11, pp. 34—38.
5. Omoto H., Rai R.O. *Izotopy sery i ugleroda* (Isotopes of sulphur and carbon). *Geokhimiya gidrotermal'nykh rudnykh mestorozhdenii*. Moscow, Mir, 1982, 622 pp.
6. Ustyugova K. S., Efanova L. I., Mayorova T. P. *Predposylki korennoi zolotonosnosti kryazha Enganepe (Polyarnyi Ural)* (Backgrounds of bedrock gold mineralization of Enganepe Ridge (Polar Urals). *Geologiya i mineralnye resursy Evropeiskogo Severo-Vostoka Rossii*: Proceedings. V. III. Syktyvkar, Institute of geology, Komi SC UB RAS, 2014, pp. 161—164.
7. For G. *Osnovy izotopnoi geologii* (Basics of isotope geology). Moscow, Mir, 1989, 590 pp.
8. McDonough W. F. and Sun S.-S. The composition of the Earth. *Chemical Geology*. 1995. V. 120, pp. 223—253.
9. Ustyugova K. Typomorphic features of gold on the Enganepe Ridge (Polar Urals). The 6th International Siberian Early Career GeoScientists Conference: Proceedings of the conference IGM, IPPG SB RAS&NSU. Novosibirsk, 2012, pp. 131—132.

Рецензент

К. Г.-М. Н. Е. И. Сорока