

О находке ниигатаита и эпидота-(Sr) в родингитах Баженовского офиолитового массива (Средний Урал)

©2024 Ю. В. Ерохин[✉], В. В. Хиллер

*Институт геологии и геохимии им. А. Н. Заварицкого УрО РАН,
ул. Академика Вонсовского, 15, 620110, Екатеринбург, Российская Федерация*

Аннотация

Введение: Стронциевые минералы группы эпидота – ниигатаит и эпидот-(Sr), открыты относительно недавно и до сих пор являются достаточно редкими минералами, поэтому их изучение является актуальной задачей. В настоящей статье нами приведено описание находки ниигатаита и эпидота-(Sr) в родингитах Баженовского офиолитового массива на Среднем Урале (Россия).

Методика: Для проведенного исследования использовались методы электронно-зондового микроанализа, рентгеновской дифрактометрии и рентгенофлуоресцентный. Химический состав минералов изучен на электронно-зондовом микроанализаторе CAMECA SX 100 с пятью волновыми спектрометрами и с использованием стандартных образцов эталонных металлов (ИГГ УрО РАН, г. Екатеринбург). Химический состав родингита установлен на рентгенофлуоресцентном волновом спектрометре XRF 1800 фирмы Shimadzu (ИГГ УрО РАН). Рентгенометрическое изучение минералов проведено на рентгеновском дифрактометре ДРОН-2.0 в Уральском государственном горном университете (г. Екатеринбург).

Результаты и обсуждение: Стронциевые минералы группы эпидота установлены в жильных дайках, мощностью до 0.5 м, секущих серпентинизированный гарцбургит. По химическому составу дайка относится к группе лампрофира. Минеральный состав породы следующий – флогопит, клинохлор, антигорит, диопсид, везувиан, титанит, кальцит, гидроксилapatит и кимрит. Из рудных минералов отмечаются халькозин и золото. Эпидот-(Sr) и ниигатаит слагают совместные тонкозернистые белесые скопления в матрице породы, размером до 1–2 мм. В центре скоплений отмечается ниигатаит с эмпирической формулой $(\text{Ca}_{1.44}\text{Sr}_{0.59})_{\Sigma 2.03}(\text{Al}_{2.50}\text{Fe}_{0.47}\text{Mg}_{0.01})_{\Sigma 2.98}[(\text{Si}_{2.98}\text{Ti}_{0.01})_{\Sigma 2.99}\text{O}_{12}](\text{OH})$, а в середине и краях – эпидот-(Sr) с эмпирической формулой $(\text{Ca}_{1.34}\text{Sr}_{0.68})_{\Sigma 2.02}(\text{Al}_{2.29}\text{Fe}_{0.70}\text{Mg}_{0.01})_{\Sigma 3.00}[(\text{Si}_{2.97}\text{Ti}_{0.01})_{\Sigma 2.98}\text{O}_{12}](\text{OH})$. При этом последний количественно преобладает. Принадлежность минералов к группе эпидота подтверждается рентгенофазовым анализом.

Заключение: Впервые для России, в пределах Баженовского офиолитового массива, установлены редкие минералы группы эпидота – ниигатаит и эпидот-(Sr). При этом, находка ниигатаита является третьей в мире, после двух находок на территории Японии. Оба минерала обнаружены в родингитовом парагенезисе, образовавшемся по субстрату щелочной ультраосновной породы – дайке лампрофира. Минералы ассоциируют с реликтовым флогопитом и новообразованным агрегатом везувиана, диопсида и хлорита.

Ключевые слова: ниигатаит; эпидот-(Sr); лампрофир; родингит; Баженовский офиолитовый массив; Средний Урал.

Источник финансирования: Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-17-00027, <https://rscf.ru/project/22-17-00027/>.



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

[✉] Ерохин Юрий Викторович, e-mail: erokhin-yu@yandex.ru

Для цитирования: Ерохин Ю. В., Хиллер В. В. О находке ниигатаита и эпидота-(Sr) в родингитах Баженовского офиолитового массива (Средний Урал) // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. 2024. № 2. С. 42–49. DOI: <https://doi.org/10.17308/geology/1609-0691/2024/2/42-49>

Введение

Стронциевые минералы группы эпидота – ниигатаит и эпидот-(Sr), открыты относительно недавно, в начале 2000-х гг. в пределах Японии и до сих пор являются достаточно редкими минералами.

Ниигатаит, как стронциевый аналог клиноцоизита, был установлен в 2003 г. в пренитовых породах, залегающих в серпентинитовом меланже в пределах префектуры Ниигата [1]. Немного позднее Международная минералогическая ассоциация в рамках унификации минеральных видов переименовала его в клиноцоизит-(Sr) [2]. После развернувшейся дискуссии по правомерности подобных замен минералов с устоявшимися историческими названиями на стандартизированные [3], ему вернули в 2016 г. первоначальное название – ниигатаит [4]. Интересно, что с тех пор ниигатаит был обнаружен еще в одной провинции Японии (в жадеититах префектуры Тоттори) и более нигде в мире не упоминался и не описывался (по данным www.mindat.org, обращение 27.03.24).

Эпидот-(Sr) был обнаружен в 2008 г. в гидротермальных жилах на марганцевом руднике Ананаи в префектуре Кочи [5]. Кроме этого, данный минерал в мире отмечался еще в четырех местах – в альбититовых дайках секущих лерцолиты Западных Пиреней (Франция) [6], в щелочных базальтоидах [7], в марганцевых рудах Северного Уэльса (Великобритания) [8] и полиметаллических рудах Нью-Джерси (США) (по данным www.mindat.org, обращение 27.03.24).

В России ниигатаит и эпидот-(Sr) обнаружены впервые, при этом предварительные данные по этим минералам были опубликованы нами ранее в виде тезисов доклада [9].

Геологическое положение Баженовского массива

Баженовский габбро-гипербазитовый массив является самым южным в Асбестовско-Алапаевском офиолитовом поясе и располагается в пределах восточной части Среднего Урала (в 80 км северо-восточнее г. Екатеринбурга). Его геологическое строение описано во многих работах [10, 11 и др.]. Баженовский габбро-гипербазитовый массив на западе контактирует с Лесозаводским габбро-диоритовым, Адуйским и Малышевским гранитными массивами, а также с различными фрагментами вулканогенно-осадочных толщ ордовика и девона. С юга и юга-запада массив граничит с Каменским гранитным и Рефтинским габбро-плагиогранитным массивами, а с востока – также с Рефтинским и Некрасовским габбро-гранитными массивами. С севера Баженовский массив обрамляется разнообразными вулканогенными и вулканогенно-осадочными толщами каменноугольного и девонского возраста

(рис. 1). Габброиды составляют западную часть массива и полностью метаморфизованы до сосюрит-амфиболитовых пород [12]. Восточная гипербазитовая часть массива сложена гарцбургитами в разной степени серпентинизированными и содержит многочисленные дайки габброидов, диоритов и плагиогранитов, большая часть из которых частично или полностью родингитизированы.

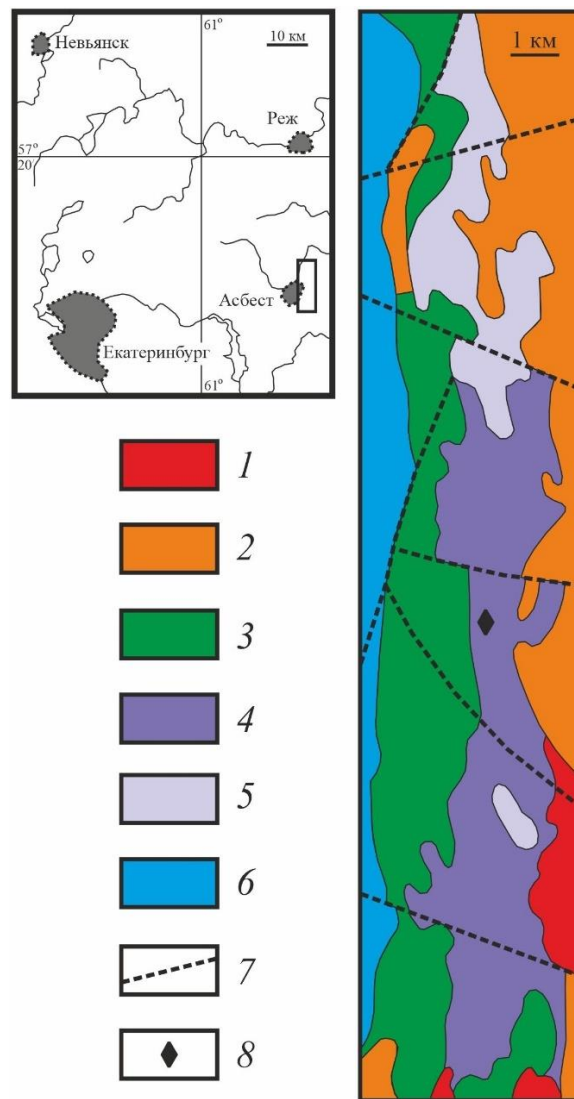


Рис. 1. Расположение и геологическая карта Баженовского массива, по [11] с упрощениями и дополнениями. Условные обозначения: 1 – гранитоиды Каменского комплекса (C_{1-2}), 2 – габбро-диориты и плагиограниты Рефтинского комплекса (S_2-D_1), 3 – габбронориты (S_1), 4 – гарцбургиты (O_{2-3}), 5 – клинопироксениты, вебстериты и верлиты, 6 – базальты (O_3-S_1), 7 – разрывные нарушения, 8 – место находки ниигатаита и эпидота-(Sr).

[Fig. 1. Location and geological map of the Bazhenov massif, according to [11] with simplifications and additions. Legend: (1) – granitoids of the Kamensky complex (C_{1-2}), (2) – gabbro-diorites and plagiogranites of the Reftinsky complex (S_2-D_1), (3) – gabbronorites (S_1), (4) – harzburgites (O_{2-3}), (5) – clinopyroxenites, websterites and wehrlites, (6) – basalts (O_3-S_1), (7) – faults, (8) – place where niigataite and epidote-(Sr) were found.]

Возраст Баженовского массива на данный момент достоверно не установлен, но весь Асбестовско-Алапаевский офиолитовый пояс оценивается как вендский (588–579 млн лет) по результатам датирования хромитов и габброидов Алапаевского массива [13]. Нами установлено, что дайки плагиогранитов прорывающие гипербазиты Баженовского массива имеют раннесилурийский возраст [14].

Краткие сведения о родингитах Баженовского массива

В пределах Баженовского массива родингиты встречаются исключительно в серпентинитах и серпентинизированных гарцбургитах, причем приурочены они к ослабленным тектоническим зонам. По морфологическим признакам здесь выделяется два типа родингитов: жильные (дайковые) тела и будины (линзовидные тела). Первый тип встречается чаще и представлен протяженными жилами, длиной до нескольких километров и мощностью до 40–50 м, обычно же, не более первых десятков метров в длину и мощностью до 1 м. К этому типу относятся родингитизированные дайки габброидов и диоритов. Второй тип родингитов встречается реже и обычно представлен линзами или будинами, размером не более первых метров в длину. Формируются они за счет дробления дайкового комплекса, а также при тектоническом захвате (меланжировании) других вмещающих пород.

При детальном изучении минералогии родингитов [15, 16] установлено, что они относятся к разным типам, т.е. субстрат у них различается. Это, в первую очередь, фиксируется по реликтовым фрагментам исходных пород, иногда сохраняющихся при родингитизации. Всего выделяется несколько типов баженовских родингитов: апогаббровые, аподиоритовые, апопироксенитовые и апоплагиогранитные, а также гидротермально-измененные. Среди такого разнообразия встречаются и редкие дайки родингитов, вероятно замещающие щелочные габброиды (?). Их мощность не превышает 0.5 м, они имеют светло- до темно-серой окраску. На контакте даек отмечается антигоритовая оторочка, мощностью до 3–4 см. Степень их родингитизации – средняя (развитие везувиан-диопсидового агрегата имеет пятнистый характер). Визуально в матрице породы отмечаются крупные лейсты коричневого флогопита. Именно в этих родингитах нами обнаружены эпидот-(Sr) и ниигатаит.

Методы исследований

Химический состав минералов изучен в Институте геологии и геохимии УрО РАН (г. Екатеринбург) на электронно-зондовом микроанализаторе CAMECA SX 100 с пятью волновыми спектрометрами и с использованием стандартных образцов эталонных металлов (аналитик В.В. Хиллер). Химический состав родингита установлен на рентгенофлуоресцентном волновом спектрометре XRF 1800 фирмы Shimadzu (ИГТ УрО РАН, аналитик Н.П. Горбунова). Рентгенометрическое изучение минералов проведено на рентгеновском диф-

рактометре ДРОН-2.0 в Уральском государственном горном университете, г. Екатеринбург (аналитик Н.Г. Сапожникова). Условия съемки: медное излучение, $V = 40 \text{ kV}$, $I = 30 \text{ mA}$, размер шага – 0.02° .

Петрохимическая и минералогическая характеристика родингита

Химический состав породы следующий (в вес.%): SiO_2 38.46, TiO_2 1.39, Cr_2O_3 0.18, Al_2O_3 13.92, Fe_2O_3 2.17, FeO 4.51, MnO 0.07, MgO 18.38, SrO 1.08, CaO 11.20, Na_2O 0.08, K_2O 3.19, P_2O_5 0.24, п.п.п. 5.92, Сумма 100.79. На диаграмме TAS для вулканических пород полученный анализ попадает в область щелочных ультраосновных пород между полями щелочных пикритов и оливиновых лампроитов.

Эпидот-(Sr) и ниигатаит встречаются среди следующих минералов – биотит, хлорит, серпентин, диопсид, везувиан, титанит, кальцит, апатит и кимрит (табл. 1, рис. 2). Из рудных минералов отмечаются халькозин и золото. Биотит слагает крупные коричневые лейсты (фенокристы), размером до 0.5 см в длину, ориентированные согласно удлинению жильного тела. По химическому составу соответствует флогопиту – $(\text{K}_{0.94}\text{Ba}_{0.02})_{\Sigma 0.96}(\text{Mg}_{2.39}\text{Fe}_{0.24}\text{Ti}_{0.21}\text{Cr}_{0.10}\text{Al}_{0.10})_{\Sigma 3.04}[\text{Al}_{1.05}\text{Si}_{2.95}\text{O}_{10}](\text{OH})_2$. По всей видимости, слюда является реликтовым минералом, в пользу этого говорят значимые примеси титана и хрома. Флогопит с краев замещается каймами зеленого хлорита, который также отмечается по всей матрице породы. Состав хлорита пересчитывается на кристаллохимическую формулу клинохлора – $(\text{Mg}_{3.93}\text{Fe}_{0.83}\text{Al}_{0.15}\text{Ti}_{0.03}\text{K}_{0.03}\text{Ca}_{0.02}\text{Mn}_{0.01})_{\Sigma 5.00}(\text{Al}_{0.93}\text{Cr}_{0.07})_{\Sigma 1.00}[\text{Si}_{3.08}\text{Al}_{0.92}\text{O}_{10}](\text{OH})_8$. Серпентин образует скопления вокруг других минералов и имеет следующую эмпирическую формулу – $(\text{Mg}_{2.88}\text{Fe}_{0.07}\text{Al}_{0.03})_{\Sigma 2.98}[\text{Si}_{2.02}\text{O}_3](\text{OH})_4$. По всей видимости, является антигоритом, т.к. в оторочке родингитового тела развит именно он. Пироксен образует скопления с везувианом и отдельные индивиды, размером до 50 мкм. По составу соответствует диопсиду – $(\text{Ca}_{1.00}\text{Na}_{0.01})_{\Sigma 1.01}(\text{Mg}_{0.78}\text{Fe}_{0.19}\text{Cr}_{0.02}\text{Mn}_{0.01})_{\Sigma 1.00}[(\text{Si}_{1.97}\text{Al}_{0.02})_{\Sigma 1.99}\text{O}_6]$. Везувиан совместно с диопсидом слагает скопления и отдельные длиннопризматические индивиды, размером до 100 мкм. По составу хорошо пересчитывается на кристаллохимическую формулу везувиана – $(\text{Ca}_{19.04}\text{Na}_{0.01})_{\Sigma 19.05}(\text{Al}_{9.62}\text{Mg}_{1.55}\text{Fe}_{1.52}\text{Ti}_{0.22}\text{Mn}_{0.05})_{\Sigma 12.96}[\text{Si}_{17.99}\text{O}_{69}](\text{OH}_{8.75}\text{F}_{0.25})_9$. Титанит слагает рассеянную вкрапленность округлых зерен, размером до 15–20 мкм, по всей матрице породы. Он имеет следующую формулу – $(\text{Ca}_{0.99}\text{Fe}_{0.01})_{\Sigma 1.00}(\text{Ti}_{0.92}\text{Al}_{0.09})_{\Sigma 1.01}[\text{Si}_{0.99}\text{O}_4]\text{O}$. Карбонат образует небольшие неправильные скопления, размером до 20–30 мкм, среди диопсид-везувианового агрегата, а также среди минералов группы эпидота. По составу отвечает кальциту с небольшой примесью стронция – $(\text{Ca}_{0.99}\text{Sr}_{0.01})_{\Sigma 1.00}(\text{CO}_3)$. Кимрит слагает редкие и слабо вытянутые индивиды, размером до 20–25 мкм, в матрице хлорита и имеет следующую формулу – $(\text{Ba}_{0.96}\text{K}_{0.06}\text{Ca}_{0.01}\text{Na}_{0.01})_{\Sigma 1.04}[(\text{Al}_{1.94}\text{Fe}_{0.03})_{\Sigma 1.97}\text{Si}_{1.99}\text{O}_8] \times \text{H}_2\text{O}$. Апатит встречается в виде редких вытянутых индивидов, размером до 30 мкм по удлинению, и относится к гидроксилapatиту –

$\text{Ca}_{5.01}[\text{P}_{2.99}\text{O}_{12}](\text{OH}_{0.64}\text{F}_{0.34}\text{Cl}_{0.02})_{\Sigma 1.00}$. Халькозин образует ноздреватые скопления неправильной формы, размером до 200 мкм. По составу практически чистый, из примесей отмечается только железо (до 1.5 мас.%).

Вокруг сульфида и реже по всей матрице породы отмечаются редкие единичные зерна золота, размером не более 1–2 мкм. Никаких примесей в металле не отмечается.

Табл. 1. Типичные составы минералов (в мас. %) из родингита
[Table 1. Typical mineral compositions (in wt. %) from rodingite]

№	1	2	3	4	5	6	7	8
n	5	4	2	5	5	2	2	4
SiO ₂	40.33	31.00	42.78	53.29	36.74	30.55	0.01	30.94
TiO ₂	3.79	0.36	0.01	0.06	0.61	37.58	0.01	-
Al ₂ O ₃	13.32	17.13	0.46	0.39	16.67	2.32	0.01	25.54
Cr ₂ O ₃	1.73	0.83	0.04	0.78	0.01	0.05	-	-
FeO	3.95	9.98	1.67	5.93	3.71	0.46	0.14	0.63
MnO	0.03	0.12	0.10	0.39	0.11	-	-	0.05
MgO	21.93	26.55	40.60	14.06	2.12	-	-	0.04
BaO	0.72	-	-	-	-	-	-	38.12
SrO	0.03	-	-	-	-	-	1.12	-
CaO	-	0.23	0.06	25.22	36.33	28.58	54.83	0.16
Na ₂ O	0.01	0.01	-	0.18	0.01	-	-	0.06
K ₂ O	10.10	0.24	-	-	-	-	-	0.72
F	0.04	-	-	-	0.17	-	-	-
O=F ₂	-0.02	-	-	-	-0.07	-	-	-
Сумма [Total]	95.96	86.45	85.73	100.30	96.41	99.59	56.12	96.26

Примечание: кристаллохимические пересчеты минералов приведены в тексте; n – количество анализов; минералы: 1 – флогопит, 2 – клинохлор, 3 – антигорит, 4 – диопсид, 5 – везувиан, 6 – титанит, 7 – кальцит, 8 – кимрит.

[Note: crystal chemical conversions of minerals are given in the text; n – number of analyses; minerals: (1) – phlogopite, (2) – clinocllore, (3) – antigorite, (4) – diopside, (5) – vesuvianite, (6) – titanite, (7) – calcite, (8) – kimrite.]

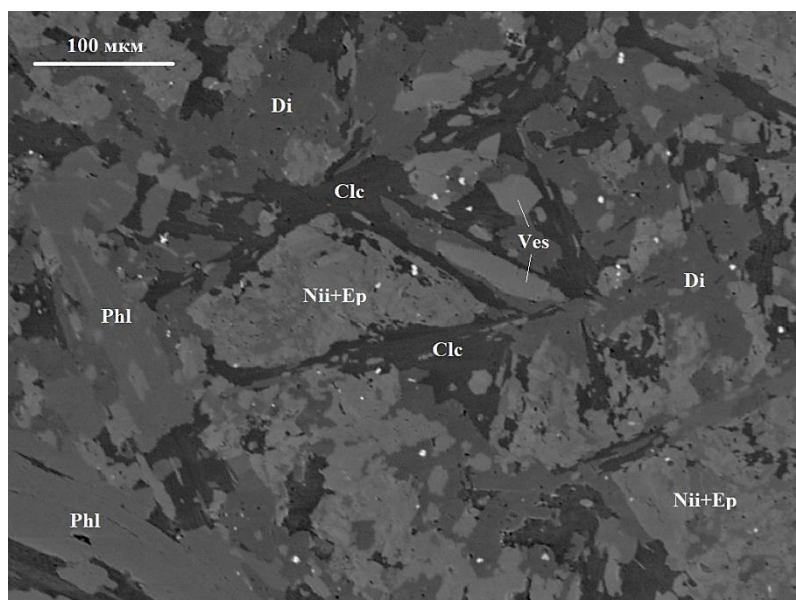


Рис. 2. Внешний вид породы. BSE-изображение, CAMECA SX 100. Минералы: флогопит – Phl, диопсид – Di, везувиан – Ves, клинохлор – Clc, скопления ниигатаита и эпидота-(Sr) – Nii+Ep.

[Fig. 2. The appearance of the rock. BSE image, CAMECA SX 100. Minerals: phlogopite – Phl, diopside – Di, vesuvian – Ves, clinocllore – Clc, accumulations of niigataite and epidote-(Sr) – Nii+Ep.]

Изучение ниигатаита и эпидота-(Sr)

Ниигатаит вместе с эпидотом-(Sr) составляют совместные тонкозернистые белесые скопления в матрице породы, размером до 1–2 мм. Изредка в этих скоплениях отмечаются вкрапления диопсида и везувиана. В шлифе ниигатаит и эпидот-(Sr) имеют желтоватую

окраску и характеризуются оптическими характеристиками обычного эпидота, т.е. с высоким двупреломлением, аномальной матричной окраской и отчетливым плеохроизмом в желтоватых тонах. При микрозондовом картировании эти скопления отличаются повышенными содержаниями стронция, кальция и

алюминия (рис. 3). По данным микронзондовых анализов в этих скоплениях отмечается высокое содержание стронция (SrO в пределах 12.2–14.2 мас. %), что в сочетании с остальными элементами позволяет выделять ниигатаит и эпидот-(Sr). В первом минерале количество железа при пересчете на формулу варьирует от 0.47 до 0.49 ф.ед. (табл. 2, ан. 1–2), а в эпидоте-(Sr) содержание железа варьирует от 0.55 до 0.71 ф.ед. (табл. 2, ан. 3–7). Распределение обоих минералов следующее: в центре скоплений отмечается ниигатаит, а в середине и краях – эпидот-(Sr), т.е. количественно

последний преобладает.

Для подтверждения находки стронциевых минералов группы эпидота были проведены рентгено-дифрактометрические исследования. Отобранная и истертая до пудры монофракция изученных скоплений дала характерные для эпидота-(Sr), и частично для ниигатаита, отражения – 2.90, 2.58, 3.50, 2.62, 2.71, 2.82, 3.25 Å. К сожалению, дифрактограмма содержит отражения других минералов (везувиана, хлорита и диопсида), но в целом главные пики эпидота-(Sr), как преобладающего минерала, надежно вычлениваются.

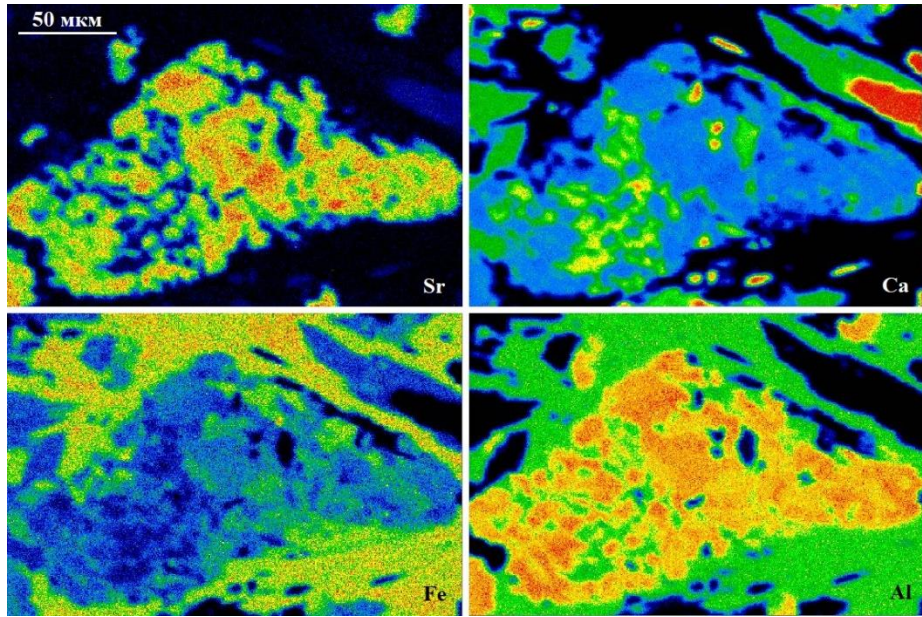


Рис. 3. Карты распределения интенсивности характеристического рентгеновского излучения линий Sr, Ca, Fe и Al скопления стронциевых минералов группы эпидота в матрице родингита.
[Fig. 3. Maps of the intensity distribution of the characteristic X-ray radiation of the Sr, Ca, Fe and Al lines of the accumulation of strontium minerals of the epidote group in the rodingite matrix.]

Табл. 2. Химический состав ниигатаита и эпидота-(Sr), в мас. %
[Table 2. Chemical composition of niigataite and epidote-(Sr), in wt. %]

№	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Mn ₂ O ₃	MgO	CaO	SrO	Сумма [Total]
1	35.86	0.16	25.45	-	7.54	0.01	0.06	16.17	12.23	97.48
2	35.15	0.09	25.41	0.02	7.74	0.04	0.04	15.26	13.30	97.05
3	35.31	0.11	24.34	0.02	8.64	0.01	0.05	14.93	14.15	97.56
4	35.90	0.07	24.02	0.02	9.43	0.01	0.03	15.46	12.85	97.79
5	35.44	0.12	22.91	-	10.48	0.05	0.09	16.30	12.55	97.94
6	34.91	0.07	22.78	0.03	10.95	-	0.11	14.67	13.39	96.91
7	34.99	0.08	22.95	0.06	10.97	0.02	0.06	14.73	13.88	97.74
Формулы в расчете на 8 катионов (согласно [2]) [Formulas based on 8 cations (according to [2])]										
1	(Ca _{1.44} Sr _{0.59})Σ2.03(Al _{2.50} Fe _{0.47} Mg _{0.01})Σ2.98[(Si _{2.98} Ti _{0.01})Σ2.99O ₁₂](OH)									
2	(Ca _{1.37} Sr _{0.65})Σ2.02(Al _{2.51} Fe _{0.49} Mg _{0.01})Σ3.01[(Si _{2.96} Ti _{0.01})Σ2.97O ₁₂](OH)									
3	(Ca _{1.34} Sr _{0.69})Σ2.03(Al _{2.42} Fe _{0.55} Mg _{0.01})Σ2.98[(Si _{2.98} Ti _{0.01})Σ2.99O ₁₂](OH)									
4	(Ca _{1.39} Sr _{0.62})Σ2.01(Al _{2.38} Fe _{0.60})Σ2.98[(Si _{3.01} O ₁₂](OH)									
5	(Ca _{1.46} Sr _{0.61})Σ2.07(Al _{2.27} Fe _{0.66} Mg _{0.01})Σ2.94[(Si _{2.98} Ti _{0.01})Σ2.99O ₁₂](OH)									
6	(Ca _{1.34} Sr _{0.66})Σ2.00(Al _{2.29} Fe _{0.71} Mg _{0.01})Σ3.01[(Si _{2.98} Ti _{0.01})Σ2.99O ₁₂](OH)									
7	(Ca _{1.34} Sr _{0.68})Σ2.02(Al _{2.29} Fe _{0.70} Mg _{0.01})Σ3.00[(Si _{2.97} Ti _{0.01})Σ2.98O ₁₂](OH)									

Примечание: ан. 1–2 – ниигатаит; ан. 3–7 – эпидот-(Sr).
[Note: an. (1–2) – niigataite; an. (3–7) – epidote-(Sr).]

Обсуждение полученных результатов

Установленные нами ниигатаит и эпидот-(Sr) на Баженовском офиолитовом массиве относятся к родингитовому парагенезису, т.к. слагают совместные сростания с новообразованными индивидами и агрегатами диопсида, хлорита и везувиана. Кстати, ниигатаит был установлен в Японии именно в родингитах, среди пренитовых блоков в ассоциации с хлоритом, диаспором, цирконом, галенитом и циннабаритом [1]. Первая находка эпидота-(Sr) была связана с марганцевыми рудами, где он обнаружен в жилах тинценита и пьомонтита, но в ассоциации с андрадитом, альбитом, пренитом и хлоритом [5], что также в определенной степени напоминает родингитовый парагенезис. Из этого следует, что стронциевые минералы группы эпидота вполне характерны для родингитов.

Детальное изучение данной минеральной ассоциации позволило нам более подробно рассмотреть субстрат родингита. Ранее предварительное предположение, что метасоматит образовался по щелочным габброидам уже не выдерживает критики. Во-первых, в изученной породе отмечаются фенокристы первичного биотита, что совсем не характерно для габброидов. Во-вторых, химический состав метасоматита попадает в поле щелочных ультраосновных пород, а не габброидов. Это конечно не совсем правильно оценивать, т.к. при метасоматозе происходит привнос-вынос компонентов, но как показали предыдущие эмпирические исследования баженовских родингитов [15] химический состав метасоматитов с реликтами субстрата (наш случай) практически не отличается от химического состава самого субстрата. Из этого следует, что родингит, по всей видимости, образовался по дайке лампрофира.

Интересно, что в пределах Асбестовско-Алапаевского офиолитового пояса уже отмечались дайки лампрофиров. В 1997 г. в Алапаевском массиве среди серпентинитов был описан комплекс лампроитоподобных уацититов с которым авторы связали немногочисленные находки алмазов в данном районе [17]. Эти же дайки отличаются высоким содержанием Sr (300–1000 г/т) и Ba (100–700 г/т) и содержат цоизит и клиноцоизит, т.е. находки стронциевых минералов группы эпидота вполне возможны и в Алапаевском массиве.

Заключение

Таким образом, впервые для России, в пределах Баженовского офиолитового массива установлены стронциевые минералы группы эпидота – ниигатаит и эпидот-(Sr). При этом находка ниигатаита является третьей в мире, после двух находок на территории Японии. Оба минерала обнаружены в родингитовом парагенезисе, образовавшемся по субстрату щелочной ультраосновной породы – лампрофиру. Минералы ассоциируют с реликтовым флогопитом и новообразованным агрегатом везувиана, диопсида и хлорита.

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

ЛИТЕРАТУРА

1. Miyajima H., Matsubara S., Miyawaki R., Hirokawa K. Niigataite, $\text{CaSrAl}_3(\text{Si}_2\text{O}_7)(\text{SiO}_4)\text{O}(\text{OH})$: Sr-analogue of clinozoisite, a new member of the epidote group from Itoigawa-Ohmi district, Niigata Prefecture, Central Japan // *Journal Mineral. Petrol. Sci.* 2003. Vol. 98. P. 118–129. DOI: 10.2465/jmps.98.118
2. Armbruster Th., Bonazzi P., Akasaka M., Bermanec V., Chopin Ch., Gieré R., Heuss-Assbichler S., Liebscher A., Menchetti S., Pan Yu., Pasero M. Recommended nomenclature of epidote-group minerals // *Europ. Journal Mineral.* 2006. Vol. 18. P. 551–567. DOI: 10.1127/0935-1221/2006/0018-0551
3. Hatert F., Mills S. J., Pasero M., Williams P. A. CNMNC guidelines for the use of suffixes and prefixes in mineral nomenclature, and for the preservation of historical names // *Europ. Journal Mineral.* 2013. Vol. 25. P. 113–115. DOI: 10.1127/0935-1221/2013/0025-2267
4. Revheim O., King V. T. Epidote supergroup nomenclature: The names hancockite, niigataite and tweddillite reinstated // *Mineral. Magaz.* 2016. Vol. 80. P. 877–880. DOI: 10.1180/minmag.2016.080.029
5. Minakawa T., Fukushima H., Nishio-Hamane D., Miura H. Epidote-(Sr), $\text{CaSrAl}_2\text{Fe}^{3+}(\text{Si}_2\text{O}_7)(\text{SiO}_4)(\text{OH})$, a new mineral from the Ananai mine, Kochi Prefecture, Japan // *Journal Mineral. Petrol. Sci.* 2008. Vol. 103. P. 400–406. DOI: 10.2465/jmps.071220
6. Monchoux P., Fontan F., De Parseval P., Martin R. F., Wang R. C. Igneous albitite dikes in orogenic lherzolites, Western Pyrénées, France: A possible source for corundum and alkali feldspar xenocrysts in basaltic terranes. I. Mineralogical associations // *Canad. Mineral.* 2006. Vol. 44. P. 817–842. DOI: 10.2113/gscanmin.44.4.817
7. Kropáč K., Dolníček Z., Uher P., Buriánek D., Urubek T. Crystal chemistry and origin of epidote-(Sr) in alkaline rocks of the teschenite association (Silesian Unit, Outer Western Carpathians, Czech Republic) // *Mineral. Petrol.* 2024. Vol. 118. P. 55–70. DOI: 10.1007/s00710-023-00847-w
8. Cotterell T. F., Tayler R. Epidote-(Sr) and piemontite-(Sr): two minerals new to Britain from Benallt mine, Pen Llyn, Gwynedd, Wales // *UK Journal Mines Mineral.* 2012. № 33. P. 39–42.
9. Ерохин Ю. В. Первая находка стронциевых минералов группы эпидота в родингитах Баженовского офиолитового комплекса. *Минералогия Урала – 2011*: материалы совещания (Екатеринбург, Миасс, 22–26 августа 2011 г.) Миасс-Екатеринбург: Уральское отделение РАН, 2011. С. 106–108.
10. Татаринцов П. М. Материалы к познанию месторождения хризотил-асбеста Баженовского района на Урале // *Труды Геолкома.* 1928. Вып. 185. 90 с.
11. Золотов К. К., Чемякин В. И., Шмайна М. Я., Медведева Т. Н., Мардиросьян А. Н., Башта К. Г., Ефимов В. И., Сонин Б. А., Старцев Н. Н., Ершов Г. П., Белов М. А., Степанова Г. М., Зевахин И. А., Люлин Е. Н., Рапопорт М. С., Вашгаль Д. С., Шестаков В. Г., Холзаков И. И. Баженовское месторождение хризотил-асбеста. М.: Недра, 1985. 271 с.
12. Ерохин Ю. В., Иванов К. С., Смирнов В. Н., Захаров А. В., Чугаев А. Е. Габброиды Баженовского габбро-гипербазитового массива (Средний Урал): вещественный состав и возраст // *Литосфера.* 2023. Т. 23. № 3. С. 367–385. DOI: 10.24930/1681-9004-2023-23-3-367-385
13. Петров Г. А., Ронкин Ю. Л., Маслов А. В., Лепихина О. П. Вендский и силурийский этапы офиолитообразования на восточном склоне Среднего Урала // *Доклады АН.* 2010. Т. 432. № 2. С. 220–226.
14. Ерохин Ю. В., Хиллер В. В., Иванов К. С. Раннесилурийский возраст даек плагиогранита из Баженовского офиолитового комплекса, Средний Урал (по данным Th-U-Pb-датирования монацита) // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология.* 2018. № 3. С. 17–21.
15. Антонов А. А. Минералогия родингитов Баженовского гипербазитового массива. СПб.: Наука, 2003. 128 с.
16. Ерохин Ю. В. Минералогия родингитов Баженовского месторождения (Средний Урал) // *Минералогический альманах.* 2017. Т. 22. № 3. 136 с.
17. Левин В. Я., Глебова З. М. Лампроитоподобные уацититы в Алапаевском гипербазитовом массиве на Среднем Урале // *Геология и минералогия подвижных поясов.* Сб. науч. трудов. Екатеринбург: Уралгеолком, 1997. С. 187–196.

The finding of niigataite and epidote-(Sr) in rodingites of the Bazhenov ophiolite massif (Middle Urals)

©2024 Yu. V. Erokhin[✉], V. V. Khiller

*Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry, Ural Branch
of the Russian Academy of Sciences, 15 Akademika Vonsovskogo str.,
620110, Yekaterinburg, Russian Federation*

Abstract

Introduction: Strontium minerals of the epidote group, niigataite and epidote-(Sr), were discovered relatively recently and are still quite rare minerals, so their study is an urgent task. In this article, we describe the discovery of niigataite and epidote-(Sr) in rodingites of the Bazhenovsky ophiolite massif in the Middle Urals (Russia).

Methodology: For the study, electron probe microanalysis, X-ray diffractometry and X-ray fluorescence methods were used. The chemical composition of minerals was studied on a CAMECA SX 100 electron probe microanalyzer with five wave spectrometers and using standard samples of reference metals (IGG Ural Branch RAS, Yekaterinburg). The chemical composition of rodingite was determined using an XRF 1800 X-ray fluorescence wave spectrometer from Shimadzu (IGG Ural Branch RAS). X-ray studies of minerals were carried out using a DRON-2.0 X-ray diffractometer at the Ural State Mining University (Yekaterinburg).

Results and discussion: Strontium minerals of the epidote group are established in vein dikes, up to 0.5 m thick, cutting serpentized harzburgite. According to its chemical composition, the dike belongs to the group of lamprophyres. The mineral composition of the rock is as follows: phlogopite, clinocllore, antigorite, diopside, vesuvianite, titanite, calcite, hydroxylapatite and kimrite. Ore minerals include chalcocite and gold. Epidote-(Sr) and niigataite form joint fine-grained whitish accumulations in the rock matrix, up to 1–2 mm in size. In the center of the clusters, niigataite with the empirical formula $(\text{Ca}_{1.44}\text{Sr}_{0.59})_{\Sigma 2.03}(\text{Al}_{2.50}\text{Fe}_{0.47}\text{Mg}_{0.01})_{\Sigma 2.98}[(\text{Si}_{2.98}\text{Ti}_{0.01})_{\Sigma 2.99}\text{O}_{12}](\text{OH})$ is noted, and in the middle the edges – epidote-(Sr) with the empirical formula $(\text{Ca}_{1.34}\text{Sr}_{0.68})_{\Sigma 2.02}(\text{Al}_{2.29}\text{Fe}_{0.70}\text{Mg}_{0.01})_{\Sigma 3.00}[(\text{Si}_{2.97}\text{Ti}_{0.01})_{\Sigma 2.98}\text{O}_{12}](\text{OH})$. In this case, the latter quantitatively predominates. The belonging of minerals to the epidote group is confirmed by X-ray phase analysis.

Conclusion: For the first time in Russia, within the Bazhenov ophiolite massif, rare minerals of the epidote group – niigataite and epidote-(Sr) – have been identified. Moreover, the discovery of niigataite is the third in the world, after two finds in Japan. Both minerals were found in a rodingite paragenesis formed along a substrate of alkaline ultrabasic rock – a lamprophyre dike. The minerals are associated with relict phlogopite and newly formed aggregates of vesuvianite, diopside and chlorite.

Keywords: niigataite; epidote-(Sr); lamprophyre; rodingite; Bazhenov ophiolite massif; Middle Urals.

Funding: The study was supported by a grant from the Russian Science Foundation No. 22-17-00027, <https://rscf.ru/project/22-17-00027/>.

For citation: Erokhin Yu. V., Khiller V. V. The finding of niigataite and epidote-(Sr) in rodingites of the Bazhenov ophiolite massif (Middle Urals) // *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya – Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 2024, no. 2, pp. 42–49. DOI: <https://doi.org/10.17308/geology/1609-0691/2024/2/42-49>



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

[✉] Yuriy V. Erokhin, e-mail: erokhin-yu@yandex.ru

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

REFERENCES

1. Miyajima H., Matsubara S., Miyawaki R., Hirokawa K. Niigataite, $\text{CaSrAl}_3(\text{Si}_2\text{O}_7)(\text{SiO}_4)\text{O}(\text{OH})$: Sr-analogue of clinozoisite, a new member of the epidote group from Itoigawa-Ohmi district, Niigata Prefecture, Central Japan. *Journal Mineral. Petrol. Sci.*, 2003, vol. 98, pp. 118–129.
2. Armbruster Th., Bonazzi P., Akasaka M., Bermanec V., Chopin Ch., Gieré R., Heuss-Assbichler S., Liebscher A., Menchetti S., Pan Yu., Pasero M. Recommended nomenclature of epidote-group minerals. *Europ. Journal Mineral.*, 2006, vol. 18, pp. 551–567.
3. Hatert F., Mills S. J., Pasero M., Williams P. A. CNMNC guidelines for the use of suffixes and prefixes in mineral nomenclature, and for the preservation of historical names. *Europ. Journal Mineral.*, 2013, vol. 25, pp. 113–115.
4. Revheim O., King V. T. Epidote supergroup nomenclature: The names hancockite, niigataite and tweddillite reinstated. *Mineral. Magaz.*, 2016, vol. 80, pp. 877–880.
5. Minakawa T., Fukushima H., Nishio-Hamane D., Miura H. Epidote-(Sr), $\text{CaSrAl}_2\text{Fe}^{3+}(\text{Si}_2\text{O}_7)(\text{SiO}_4)(\text{OH})$, a new mineral from the Ananai mine, Kochi Prefecture, Japan. *Journal Mineral. Petrol. Sci.*, 2008, vol. 103, pp. 400–406.
6. Monchoux P., Fontan F., De Parseval P., Martin R. F., Wang R. C. Igneous albitite dikes in orogenic lherzolites, Western Pyrenées, France: A possible source for corundum and alkali feldspar xenocrysts in basaltic terranes. I. Mineralogical associations. *Canad. Mineral.*, 2006, vol. 44, pp. 817–842.
7. Kropáč K., Dolníček Z., Uher P., Buriánek D., Urubek T. Crystal chemistry and origin of epidote-(Sr) in alkaline rocks of the teschenite association (Silesian Unit, Outer Western Carpathians, Czech Republic). *Mineral. Petrol.*, 2024, vol. 118, pp. 55–70.
8. Cotterell T. F., Tayler R. Epidote-(Sr) and piemontite-(Sr): two minerals new to Britain from Benallt mine, Pen Llyn, Gwynedd, Wales. *UK Journal Mines Mineral.*, 2012, (33), pp. 39–42.
9. Erohin Ju. V. Pervaja nahodka stroncievyykh mineralov gruppy jepidota v rodingitah Bazhenovskogo ofiolitovogo kompleksa. [The first discovery of strontium minerals of the epidote group in rodingites of the Bazhenovsky ophiolite complex]. *Mineralogiya Urala – 2011: materialy soveshhanija* [Mineralogy of the Urals – 2011: materials of the meeting], Yekaterinburg, August 22–26, 2011, Miass- Urals Branch RAS publ., 2011, pp. 106–108. (In Russ.)
10. Tatarinov P. M. Materialy k poznaniyu mestorozhdeniya khризотил-асбеста Bazhenovskogo rayona na Urale [Materials for knowledge of the chrysotile-asbestos deposit in the Bazhenovsky region in the Urals]. *Trudy Geolkomu – Proceedings of the Geological Committee*, 1928, vol. 185, 90 p. (In Russ.)
11. Zoloev K. K., Chemyakin V. I., Shmaina M. Ya., Medvedeva T. N., Mardirosian A. N., Bashta K. G., Efimov V. I., Sonin B. A., Startsev N. N., Ershov G. P., Belov M. A., Stepanova G. M., Zevakhin I. A., Lyulin E. N., Rapoport M. S., Vashgal D. S., Shestakov V. G., Kholzakov I. I. *Bazhenovskoye mestorozhdeniye khризотил-асбеста* [Bazhenovskoe chrysotile asbestos deposit]. Moscow, Nedra publ., 1985, 271 p. (In Russ.)
12. Erokhin Yu. V., Ivanov K. S., Smirnov V. N., Zakharov A. V., Chugaev A. E. Gabbroidy Bazhenovskogo gabbro-giperbazitovogo massiva (Sredniy Ural): veshchestvennyy sostav i vozrast [Gabbroids of the Bazhenov gabbro-hypermafic massif (Middle Urals): material composition and age]. *Litosfera – Lithosphere*, 2023, vol. 23(3), pp. 367–385 (In Russ.)
13. Petrov G. A., Ronkin Ju. L., Maslov A. V., Lepihina O. P. Vendskiy i siluriyskiy jetapy ofiolitoobrazovaniya na vostochnom sklone Srednego Urala [Vendian and Silurian ophiolite-formation stages on the Eastern slope of the Middle Urals]. *Doklady AN – Doklady Earth Sciences*, 2010, vol. 432(1), pp. 570–576 (In Russ.)
14. Erokhin Yu. V., Khiller V. V., Ivanov K. S. Rannesiluriyskiy vozrast dayek plagiogranita iz Bazhenovskogo ofiolitovogo kompleksa, Sredniy Ural (po dannym Th-U-Pb-datirovaniya monatsita) [Early Silurian age of dikes of plagiogranite from the Bazhenovsky ophiolite complex, Middle Urals (According to Th-U-Pb dating of monazite)]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya – Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 2018, no. 3, pp. 17–21. (In Russ.)
15. Antonov A. A. *Mineralogiya rodingitov Bazhenovskogo giperbazitovogo massiva* [Mineralogy of rodingites of the Bazhenovsky hyperbatic massif]. Saint Petersburg, Nauka publ., 2003, 128 p. (In Russ.)
16. Erokhin Yu. V. Mineralogiya rodingitov Bazhenovskogo mestorozhdeniya (Sredniy Ural) [Mineralogy of rodingites of the Bazhenovsky deposit (Middle Urals)]. *Mineralogicheskii al'manakh – Mineralogical almanac*, vol. 22(3), 2017, 136 p. (In Russ.)
17. Levin V. Ya., Glebova Z. M. Lamproitopodobnyye uachitity v Alapayevskom giperbazitovom massive na Srednem Urale [Lamproite-like uachites in the Alapayevsky hyperbatic massif in the Middle Urals]. *Geologiya i minerageniya podvizhnykh pojasov* [Geology and minerageny of mobile belts], Yekaterinburg, Urals Geological Committee publ., 1997, pp. 187–196. (In Russ.)

Ерохин Юрий Викторович, к.г.-м.н., в.н.с., Институт геологии и геохимии УрО РАН, Екатеринбург, Российская Федерация; e-mail: erokhin-yu@yandex.ru; ORCID 0000-0002-0577-5898

Хиллер Вера Витальевна, к.г.-м.н., ст.н.с., Институт геологии и геохимии УрО РАН, Екатеринбург; e-mail: hilvervit@mail.ru; ORCID 0000-0001-8491-4958

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Yuriy V. Erokhin, PhD in Geol-Min., Leading researcher, Institute of Geology and Geochemistry, RAS Ural Branch, Yekaterinburg, Russian Federation; e-mail: erokhin-yu@yandex.ru; ORCID 0000-0002-0577-5898

Vera V. Khiller, PhD in Geol-Min., Senior research fellow, Institute of Geology and Geochemistry, RAS Ural Branch, Yekaterinburg, Russian Federation; e-mail: hilvervit@mail.ru; ORCID 0000-0001-8491-4958

Authors have read and approved the final manuscript.