



<https://doi.org/10.35597/2313-545X-2025-12-1-1>
УДК 549.67 (470.55)

Гускрикит из Булатовского каменного карьера (Южный Урал): первая находка в России

А.В. Касаткин¹, Н.В. Чуканов², В.А. Попов³, А.М. Кузнецов⁴

¹Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН, Ленинский пр., 18-2, г. Москва,
119071 Россия; anatoly.kasatkin@gmail.com

²Федеральный исследовательский центр проблем химической физики и медицинской химии РАН,
Московская обл., пр. Академика Семенова 1, г. Черноголовка, 142432 Россия

³Южно-Уральский федеральный научный центр минералогии и геоэкологии УрО РАН,
г. Миасс, Челябинская обл., 456317 Россия

⁴ул. Октябрьская 5-337, г. Челябинск, 454071 Россия

Статья поступила в редакцию 00.00.2025 г., после доработки 00.00.2026 г., принята к печати 00.00.2026 г

Аннотация. В гранитных пегматитах Булатовского каменного карьера (Челябинская обл., Южный Урал) впервые на территории Российской Федерации установлен редкий цеолит гускрикит $\text{CaAl}_2\text{Si}_6\text{O}_{16} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. Он образует щетки субизометричных бесцветных и белых прозрачных со стекляннм блеском кристаллов размером до 0.4 см на микроклине и кварце в ассоциации с клинохлором, стильбитом-Са и флогопитом. Химический состав минерала (мас. %, среднее по 12 анализам, содержание H_2O рассчитано по стехиометрии): K_2O 0.21, CaO 9.33, Al_2O_3 16.53, SiO_2 58.77, H_2O (расч.) 14.71, сумма 99.55. Эмпирическая формула, рассчитанная на 21 атом О: $\text{Ca}_{1.02}\text{K}_{0.03}\text{Al}_{1.99}\text{Si}_{1.99}\text{O}_{16} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. Главные линии порошковой рентгенограммы [$d, \text{Å}(I)(hkl)$]: 6.997(50)(001), 4.856(67)(121), 4.503(70)(130), 4.472(100)(031), 3.302(60)(220). Рассчитанные по порошкограмме параметры моноклинной элементарной ячейки: $a = 7.4008(9)$, $b = 17.421(3)$, $c = 7.288(1) \text{ Å}$, $\beta = 105.42(2)^\circ$, $V = 905.8(2) \text{ Å}^3$. Волновые числа сильных полос в ИК спектре (см^{-1}): 3567, 3484, 3313, 1635, 1173, 1032, 980, 724, 576, 535, 421. .

Ключевые слова: гускрикит, цеолит, пегматиты, Булатовский карьер, Южный Урал, первая находка в России.

Финансирование. ИК спектроскопическое исследование выполнено в соответствии с темой государственного задания ФИЦ проблем химической физики и медицинской химии РАН (номер государственной регистрации 124013100858-3).

Благодарности. Авторы признательны А.С. Гилеву за предоставленные образцы для исследований и подробную информацию о находке, С.Г. Епанчинцеву и М.Д. Мильшиной – за помощь в изготовлении рисунки В.В. Гуржию – за обсуждение материала. Авторы также благодарят рецензента за конструктивные замечания, которые помогли улучшить статью.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, связанных с рукописью.

Вклад авторов. А.В. Касаткин – разработка концепции, оптико-микроскопические исследования, химические и рентгеновские анализы, написание рукописи; Н.В. Чуканов – инфракрасная спектроскопия, написание рукописи; В.А. Попов – измерение и чертёж кристалла, написание рукописи; А.М. Кузнецов – поиск литературных источников, оформление иллюстраций, написание рукописи. Все авторы одобрили финальную версию статьи перед публикацией.

Для цитирования: Касаткин А.В., Чуканов Н.В., Попов В.А., Кузнецов А.М. Гускрикит из Булатовского каменного карьера (Южный Урал): первая находка в России. Минералогия, 12(1), 5–16. <https://doi.org/10.35597/2313-545X-2025-12-1-1>.

Goosecreekite from the Bulatovo stone quarry (South Urals): the first find in Russia

A.V. Kasatkin¹, N.V. Chukanov², V.A. Popov³, A.M. Kuznetsov⁴

¹Fersman Mineralogical Museum RAS, Leninskiy pr. 18-2, Moscow, 119071 Russia; anatoly.kasatkin@gmail.com

²Federal Research Center of Problems of Chemical Physics and Medicinal Chemistry RAS, pr. Akademika Semenova 1, Chernogolovka, Moscow region, 142432 Russia

³South Urals Federal Research Center of Mineralogy and Geoecology UB RAS, Miass, Chelyabinsk region, 456317 Russia;

⁴5-337, ul. Oktyabrskaya, Chelyabinsk, 454071 Russia

Received 00.00.2025, revised 00.00.2025 accepted 00.00.2026

Abstract. A rare zeolite goosecreekite, $\text{CaAl}_2\text{Si}_6\text{O}_{16} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, was found for the first time in Russia in granitic pegmatites of the Bulatovo stone quarry (Chelyabinsk region, South Urals). It forms clusters of subhedral colorless and white transparent crystals with vitreous luster up to 0.4 cm in size on microcline and quartz in assemblage with clinocllore, stilbite-Ca and phlogopite. The chemical composition of the mineral is as follows (wt. %, mean of twelve analyses, the H_2O content is calculated by stoichiometry): K_2O 0.21, CaO 9.33, Al_2O_3 16.53, SiO_2 58.77, H_2O (calc.) 14.71, total 99.55. The empirical formula based on 21 O atom per formula unit is $\text{Ca}_{1.02}\text{K}_{0.03}\text{Al}_{1.99}\text{Si}_{1.99}\text{O}_{16} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. The strongest reflections of the powder X-ray diffraction diagram are [$d, \text{Å}(I)$ (hkl)]: 6.997(50)(001), 4.856(67)($\bar{1}21$), 4.503(70)(130), 4.472(100)(031), 3.302(60)(220). The parameters of the monoclinic unit cell calculated from the powder X-ray data are as follows: $a = 7.4008(9)$, $b = 17.421(3)$, $c = 7.288(1)$ Å, $\beta = 105.42(2)^\circ$, $V = 905.8(2)$ Å³. The wavenumbers of the strongest bands of the IR spectrum are (cm^{-1}): 3567, 3484, 3313, 1635, 1173, 1032, 980, 724, 576, 535, and 421.

Keywords: goosecreekite, zeolite, pegmatites, Bulatovo quarry, South Urals, first find in Russia.

Funding. The IR spectroscopic studies were supported by state contract of the Federal Research Center of Problems of Chemical Physics and Medicinal Chemistry RAS no. 124013100858-3.

Acknowledgements. We are grateful to Alexander S. Gilyov for samples for studies and detailed information about the locality, Sergey G. Epanchintsev and Maria D. Milshina for help with figures and Vladislav V. Gurzhiy for discussion. We also thank to an anonymous reviewer for constructive comments.

Conflict of interest. The authors declare that they have no conflicts of interest.

Author contribution. A.V. Kasatkin – conceptualization, physical properties, chemical and X-ray analyses, writing of the manuscript; N.V. Chukanov – infrared spectroscopy, writing of the manuscript; V.A. Popov – crystal measurement and drawing, writing of the manuscript; A.M. Kuznetsov – literature data, preparation of figures, writing of the manuscript. All the authors approved the final version of the manuscript prior to publication.

For citation: Kasatkin A.V., Chukanov N.V., Popov V.A., Kuznetsov A.M. Goosecreekite from Bulatovo stone quarry (South Urals): the first find in Russia. *Mineralogy*, 12(1), 5–16. <https://doi.org/10.35597/2313-545X-2025-12-1-1>.

ВВЕДЕНИЕ

Гускрикит, минерал из группы цеолитов с идеальной формулой $\text{CaAl}_2\text{Si}_6\text{O}_{16} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, был впервые обнаружен и описан группой американских и канадских ученых в образцах из карьера Гус Крик (*Goose Creek*) в штате Виргиния, США (Dunn et al., 1980). Свое название минерал получил по месту первой находки. Гускрикит из Виргинии образует поликристаллические агрегаты или несовершен-

ные индивиды размером до 2 мм в полостях диабаза и ассоциирует с полевым шпатом, актинолитом, хлоритом, эпидотом, бабингтонитом, кварцем, титанитом, пренитом и стильбитом (Dunn et al., 1980). Авторы первого описания гускрикита без структурных данных предположили, что он может быть родственен брюстериту и эпистильбиту, а также является членом серии гейландита.

Расшифровка кристаллической структуры гускрикита (Rouse, Peacor, 1986) показала, что он

кристаллизуется в моноклинной сингонии ($a = 7.401(3)$, $b = 17.439(6)$, $c = 7.293(3)$ Å, $\beta = 105.44(4)^\circ$, $V = 907.31$ Å³; пространственная группа $P2_1$), является диморфом эпистильбита и имеет некоторые элементы структуры, сходные с таковой брюстерита. В структуре гускрикита можно выделить три группы пересекающихся каналов, расположенных вдоль осей a , b и c . Каналы содержат атомы Ca, координированные двумя атомами O в составе каркаса, и пятью молекулами H₂O с образованием искаженного одношапочного октаэдра. Каркас состоит из тетраэдров SiO₄ и AlO₄, сгруппированных в четырех-, шести- и восьмичленные кольца, объединенные через общие ребра в деформированные слои, которые ориентированы параллельно плоскости (010). В отличие от неупорядоченного эпистильбита (Slaughter, Kane, 1969) в структуре гускрикита упорядочение Si-Al почти совершенное с двумя из шести тетраэдрических позиций, демонстрирующих незначительное изоморфное замещение. Слои, параллельные (010), напоминают таковые в структуре брюстерита, но объединяются в трехмерный каркас несколько иным способом. Структуру гускрикита также можно описать с помощью комплексов T₉O₁₈, которые образуют вершинно-связанные цепочки, вытянутые вдоль оси b , тогда как соседние цепочки связаны в направлениях a и c четырехчленными кольцами. Расшифровка структуры гускрикита также показала, что этот цеолит не может быть отнесен ни к одной из известных серий, включая серию гейландита (Rouse, Peacor, 1986).

Гускрикит относится к редким минералам. В месте его первой находки было найдено всего около 25 образцов (Dunn et al., 1980). В последующие годы гускрикит был достоверно установлен в различных карьерах района Нашик (Насик) в штате Махараштра, Индия (Ottens, Hochleitner, 1985; Ottens, 2003; Ottens et al., 2019), в амфиболитовом карьере Обербаумюле (*Oberbaumühle*) в немецкой Баварии (Hampel, Keck, 1990), в известняковом карьере Дженсен (*Jensen*) в Калифорнии, США (Gaines et al., 1997), в моренных отложениях вокруг озера Ювватн (*Juvvatn*) в Норвегии (Nordrum, 2002; Raade, Berg, 2002) и в андезитовых конгломератах рядом с поселком Педерналь в Коста-Рике (Zeledón, 2004).

В России, насколько известно авторам, данный цеолит ранее не отмечался. Нами он найден в образцах из Булатовского каменного карьера на Южном Урале и изучен современными аналитиче-

скими методами. Это первая достоверная находка гускрикита на территории Российской Федерации.

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О МЕСТЕ НАХОДКИ

Булатовский каменный карьер (54°34'11" с.ш., 60°25'23" в.д.) расположен в 1.5 км северо-восточнее дер. Булатово Уйского района Челябинской области, примерно в 100 км к юго-западу от г. Челябинск. В геологическом отношении Булатовский карьер находится на площади Большаковского габброноритового массива силурийского возраста (рис. 1). Массив залегает в ядре антиклинальной структуры, сложенной породами краснокаменной, булатовской и шеметовской толщ. Вмещающими породами являются базальты, содержащие прослой кремнистых туффитов и яшмоидов. Площадь массива составляет около 40 км². В плане он имеет овально-изометричную форму ~ 8 × 6 км с кольцевым внутренним строением. Длинная ось массива ориентирована субмеридионально. Массив сформирован в три фазы. Наиболее ранними являются преобладающие в его составе оливин-пироксеновые габбро. Их прорывают тела пироксен-амфиболовых лабрадоровых габбро. Позднее сформировались габбро-порфириды, состоящие из гиперстена, клинопироксена, роговой обманки, небольшого количества биотита, зонального лабрадора, магнетита и апатита (Попов и др., 2017).

Небольшой относительно новый Булатовский карьер размером примерно 80 × 20 м заложен в первой половине 2010-х гг. для добычи облицовочного камня. В 2016 г. С.Г. Епанчинцевым здесь были впервые обнаружены небольшие пегматитовые жилы с цеолитовой минерализацией. Жильные граниты и гранитные пегматиты, пространственно ассоциирующие с Большаковским массивом, являются более поздними по отношению к габбро и, предположительно, связаны со становлением гранитоидов Камбулатовского комплекса. В стенках карьера тела гранитных пегматитов выглядят системой жильных тел снежно-белого цвета, пересекающих блоки габбро, или мелкими разноориентированными жилами. Строение и минеральный состав пегматитов Булатовского карьера подробно описаны в работе (Попов и др., 2017).

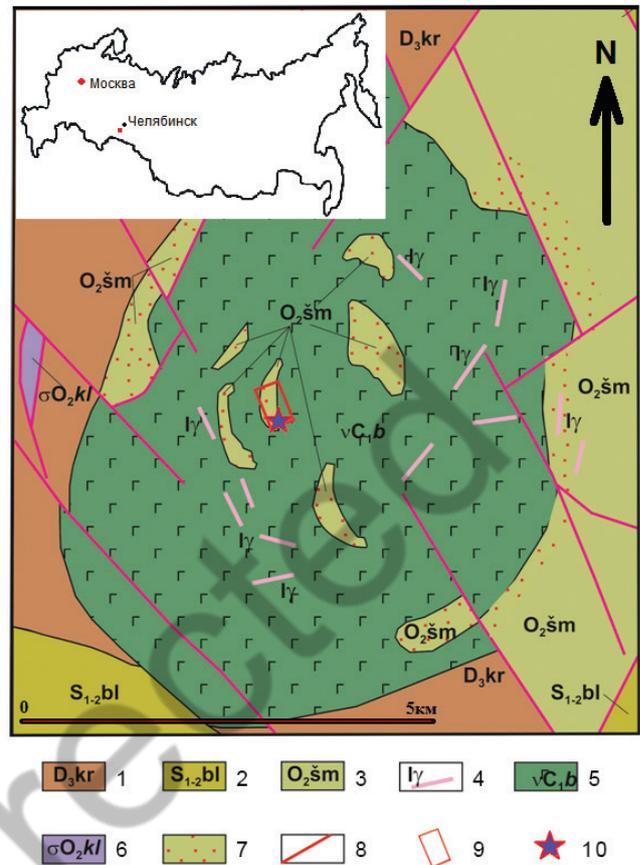
В последние годы добычные работы в карьере не ведутся, а сам объект периодически посещается любителями камня для сбора коллекционного материала. В образцах из карьера нами были в разные годы установлены такие цеолиты, как гейландит-

Рис. 1. Географическое положение Булатовского карьера и геологическая схема Большаковского массива с изменениями и упрощениями по (Пуужаков и др., 2018).

1 – поздний девон, краснокаменная толща: лавы, лавобрекчии, туфы трахибазальтов, трахиандезитов, андезитов и дацитов, туффиты; 2 – ранний-поздний силур, булатовская толща: сланцы углисто-кремнистые, базальты и их туфы, вулканогенные песчаники и туфопесчаники; 3 – поздний ордовик, шеметовская толща: лавы и туфы трахибазальтов, базальтов, трахиандезитов и риодацитов, прослои кремнистых туффитов, яшмоидов; 4 – дайки лейкогранитов; 5 – Большаковский габброноритовый массив: габбро, габбронориты, нориты, долериты; 6 – Куликовский габбро-дунит-гарцбургитовый массив: апогарцбургитовые, аполерцолитовые, антигоритовые серпентиниты; 7 – породы контактового метаморфизма; 8 – разрывные нарушения; 9 – контур геологического отвода Булатовского участка; 10 – Булатовский карьер.

Fig. 1. Geographical location of the Bulatovo quarry and geological map of the Bolshakovsky pluton, modified and simplified after (Puzhakov et al., 2018).

1 – Late Devonian Krasny Kamen Formation: lava, lava breccia, tuff of trachybasalt, trachybasaltic andesite, trachyandesite, andesite and dacite, tuffite; 2 – Early-Late Silurian Bulatovo Formation: carbonaceous-siliceous shale, basalt and their tuff, volcanic sandstone and tuffaceous sandstone; 3 – Late Ordovician Shemetovskaya Formation: lava and tuff of trachybasalt, basalt, trachybasaltic andesite and rhyodacite, interbeds of siliceous tuffite, jasperoid; 4 – leucogranitic dikes; 5 – Bolshakovsky gabbronorite pluton: gabbro, gabbronorite, norite, dolerite; 6 – Kulikovsky gabbro-dunite-harzburgite massif: antigorite serpentinite after harzburgite and lherzolite; 7 – contact metamorphic rocks; 8 – faults; 9 – geological contour of the Bulatovo area; 10 – Bulatovo quarry.



Са, ломонтит, стеллерит, стильбит-Са и шабазит-Са (Попов и др., 2017; неопубликованные авторские данные). В июне 2025 г. При разборе пегматитового тела длиной около 1.5 м и мощностью 0.5 м в северной стенке карьера (рис. 2) А.С. Гилевым была вскрыта миарола размером приблизительно 0.3 × 0.1 × 0.1 м с кристаллами неизвестного цеолита, впоследствии диагностированного как гускрикит. Всего из миаролы извлечено около 20 небольших (первые сантиметры) образцов с этим редким минералом.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Физические свойства гускрикита описаны по результатам наблюдений под стереомикроскопом Zeiss Discovery V8. Химический состав изучался с использованием сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) Hitachi FlexSEM 1000 с энергодисперсионным (ЭД) детектором Xplore Contact

30 и системой анализа Oxford AZtecLive STD при ускоряющем напряжении 20 кВ, диаметре зонда 2 мкм и поглощенном токе 5 нА на металлическом кобальте (аналитик А.В. Касаткин). Определявшиеся элементы, аналитические рентгеновские линии и стандарты: AlKα – кианит; SiKα – SiO₂; KKα – KBr; CaKα – волластонит. Содержания остальных элементов с атомными номерами выше, чем у бериллия, оказались ниже пределов обнаружения ЭДС анализом.

Порошковая рентгенограмма получена на дифрактометре PowDiX 600 (CoKα – излучение, фильтр Fe 50 мкм, ускоряющее напряжение 40 кВ, ток 15 мА, непрерывный режим, скорость сканирования 1°/мин, расстояние образец–детектор 150 мм; аналитик А.В. Касаткин). Дифракционные данные проинтегрированы в программном комплексе ALMAZ, версия 1.0.

ИК спектры порошка гускрикита и родственных ему цеолитов, запрессованных в таблетки с

Рис. 2. Пегматитовое тело Булатовского карьера, в котором найден гускрикит (указано стрелкой). Поле зрения ~ 20 м. Июль 2025 г. Фото А.М. Кузнецова.

Fig. 2. Pegmatite body in the Bulatovo quarry, where goosecreekite was found (shown with an arrow). Field of view ~ 20 m. July 2025. Photo by A.M. Kuznetsov.



Рис. 3. Гускрикит и ассоциирующие минералы из Булатовского карьера: а – бесцветные кристаллы гускрикита и более мелкие белые кристаллы микроклина на белом массивном микроклине в сростании с кварцем и темным клинохлором; б – увеличенный фрагмент образца на рис. 3а; в – белые кристаллы гускрикита на дымчатом кварце. Фото: а, б – А.М. Кузнецов и М.Д. Мильшина; в – А.С. Гилёв и М.Д. Мильшина.

Fig. 3. Goosecreekite from the Bulatovo quarry: а – colorless goosecreekite crystals and smaller white microcline crystals on white massive microcline and quartz with dark clinocllore: б – enlarged fragment of the specimen from Fig. 3а; в – white goosecreekite crystals on smoky quartz.

Photo: а, б – A.M. Kuznetsov and M.D. Milshina; в – A.S. Gilyov and M.D. Milshina.

KBr, сняты на Фурье спектрометре ALPHA FTIR (Bruker Optics, Германия) в диапазоне волновых чисел 360–3800 cm^{-1} при разрешающей способности 4 cm^{-1} и числе сканирований, равном 16 (аналитик Н.В. Чуканов). В качестве образца сравнения, ИК спектр которого автоматически вычитался, использована таблетка KBr, не содержащая минерала.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Гускрикит из Булатовского карьера образует бесцветные кристаллы размером 0.2–0.4 см в щетках размером до 5 × 3 см на массивном белом микроклине в тесном сростании с кварцем, клинох-

лором (рис. 3а, б) и иногда – флогопитом. Размер индивидов гускрикита сопоставим с размером находящихся в тех же щетках кристаллов кварца и микроклина. Кварц дымчатый, прозрачный, образует короткопризматические кристаллы размером до 0.5 см. Кристаллы микроклина более мелкие (до 0.2 см), изометричные, непрозрачные, белого цвета, сдвойникованы по альбитовому закону. Микроклин диагностирован по химическому составу (его эмпирическая формула $(\text{K}_{0.89}\text{Na}_{0.05})_{\Sigma 0.94}\text{Al}_{1.02}\text{Si}_{3.00}\text{O}_8$) и ИК спектру. В этой же ассоциации присутствует стильбит-Са, образующий сноповидные агрегаты белых расщепленных кристаллов до 3 см. Также гускрикит установлен в виде бесцветных и белых

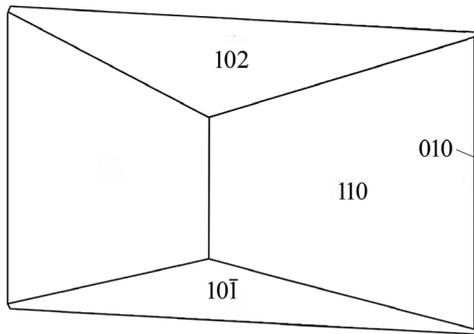


Рис. 4. Чертеж кристалла гускрикита.
Fig. 4. Drawing of the goosecreekite crystal.

кристаллов до 0.4 см на нескольких одиночных кристаллах дымчатого кварца длиной до 3 см (рис. 3в). На одном из подобных кристаллов кварца из той же миаролы обнаружен пренит в виде белой сферолитовой корки размером 2 см.

Кристаллы гускрикита из Булатовского карьера прозрачны, имеют стеклянный блеск и белую черту. Твердость по шкале Мооса, определенная методом царапания эталонными минералами, составляет $\sim 4\frac{1}{2}$, аналогично значению твердости типового гускрикита из США. Плотность южноуральского минерала, измеренная уравниванием его зерен в растворе жидкости Клеричи, равна $2.24(2)$ г/см³, что совпадает с показателем расчетной плотности 2.236 г/см³, полученным с использованием эмпирической формулы и рассчитанных по порошковой диаграмме параметров элементарной ячейки, а также соответствует измеренной плотности ($2.21(2)$ г/см³) гускрикита из карьера Гус Крик (Dunn et al., 1980).

В литературе неоднократно отмечались несовершенная форма кристаллов гускрикита из разных местонахождений, изогнутость и скрученность граней, не позволяющая корректно проиндексировать их формы (Dunn et al., 1980; Raade, Berg, 2002; Ottens, 2003). Гониометрические измерения кристаллов гускрикита из места первой находки позволили определить индексы $\{100\}$ и $\{001\}$ только для двух пинакоидов, в то время как остальные грани оказались сильно искривлены (Dunn et al., 1980). По аналогичной причине не были проиндексированы грани кристаллов гускрикита из других объектов.

Кристаллы гускрикита из Булатовского карьера оказались более совершенными, что позволило впервые для данного минерального вида заполнить чертеж его кристалла (рис. 4). Кристаллы

имеют субизометричный облик, слабо удлиненный по второй кристаллографической оси $[010]$, габитус образован гранями ромбической призмы $\{110\}$ и пинакоидов $\{102\}$, $\{10\bar{1}\}$, $\{010\}$. Грани второго пинакоида $\{010\}$ узкие, по ним видна совершенная спайность. Пинакоиды $\{102\}$ $\{10\bar{1}\}$ грубоблочные, видна небольшая скрученность граней.

В отличие от многих других цеолитов, гускрикит является минералом с постоянной стехиометрией. Приводимые в литературе химические составы близки к идеальной формуле минерала, в том числе по содержанию воды и отсутствию или малому количеству примесных элементов (Dunn et al., 1980; Raade, Berg, 2002). Это в полной мере относится и к российскому цеолиту. Гускрикит из Булатовского карьера устойчив под пучком электронного зонда и однороден в режиме отраженных электронов. В его составе отмечена только небольшое содержание K_2O (до 0.31 мас. %). Усредненный химический состав минерала (среднее значение по двенадцати анализам) показан в таблице 1. Он отвечает эмпирической формуле, рассчитанной на 21 атом O: $Ca_{1.02}K_{0.03}Al_{1.99}Si_{1.99}O_{16} \cdot 5H_2O$. Аналогичная южноуральскому гускрикиту небольшая примесь K (до 0.07 а.ф.) ранее отмечалась только в гускриките из Норвегии (Raade, Berg, 2002).

Порошковая рентгенограмма гускрикита из Булатовского карьера близка к эталонной рентгенограмме минерала из места его первой находки (табл. 2). Все измеренные межплоскостные расстояния и интенсивности соответствуют показателям, рассчитанным из структурных данных (Rouse, Peacor, 1986). Параметры моноклинной элементарной ячейки, рассчитанные по данным порошковой диаграммы с помощью программы UnitCell (Holland, Redfern, 1997): $a = 7.4008(9)$, $b = 17.421(3)$, $c = 7.288(1)$ Å, $\beta = 105.42(2)^\circ$, $V = 905.8(2)$ Å³. Они близки к параметрам ячейки гускрикита, полученным для голотипа в результате монокристалльной съемки (табл. 2).

ИК спектр гускрикита из Булатовского карьера (кривая 1 на рис. 5) близок к спектру гускрикита из трапповой формации Индии (кривая 2 на рис. 5), отличаясь от последнего более слабой разрешенностью полос в областях валентных ($900\text{--}1200$ см⁻¹), смешанных ($600\text{--}800$ см⁻¹) и деформационных (ниже 600 см⁻¹) колебаний алюмосиликатного каркаса, что указывает на частичную (но незначительную) разупорядоченность Al и Si. Водородные связи, образуемые молекулами воды в гускриките из Булатовского карьера, немного ослаблены по сравнению с водородными связями в гускриките из

Таблица 1. Химический состав гускрикита из Булатовского карьера (Южный Урал)
Table 1. Chemical composition of goosecreekite from Bulatovskiy Quarry (South Urals)

Оксид	Мас. % ($n = 12$)	Разброс значений	Стандартное отклонение
SiO ₂	58.77	57.90–59.65	0.49
Al ₂ O ₃	16.53	16.11–17.12	0.42
CaO	9.33	9.12–9.66	0.16
K ₂ O	0.21	0.12–0.31	0.08
H ₂ O	14.71		
Сумма	99.55		

Примечание. Содержание H₂O рассчитано по стехиометрии (H = 10 а.ф.)

Note. The H₂O content is calculated by stoichiometry (H = 10 apfu).

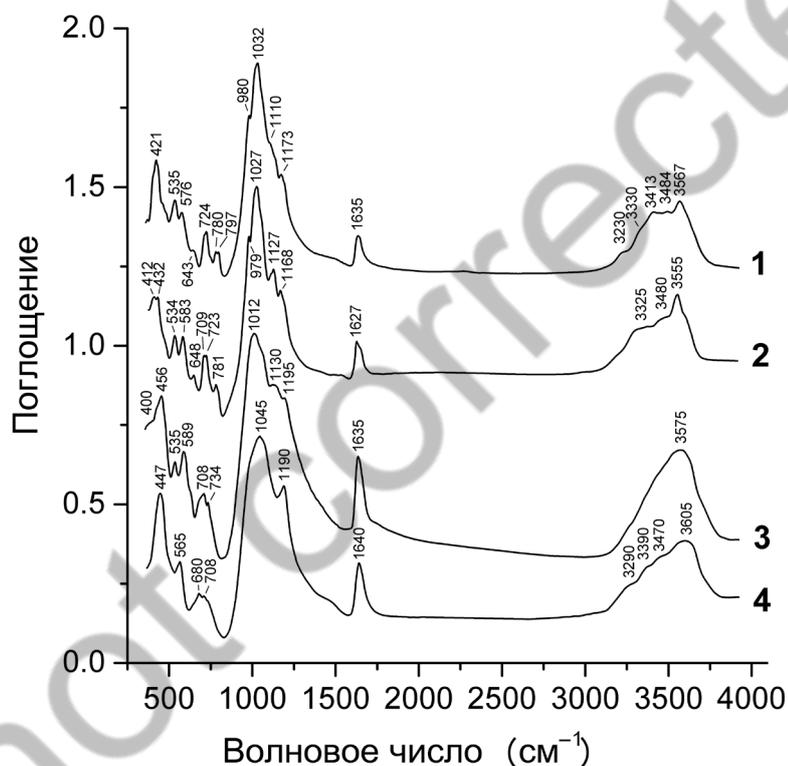


Рис. 5. Инфракрасные спектры цеолитов: 1, 2 – гускрикит из Булатовского карьера (1) и карьера близ г. Насик, Махараштра, Индия (2); 3 – брьюстерит-Sr с эмпирической формулой (Sr_{1.4}Ba_{0.6}K_{0.1})(Si_{11.9}Al_{4.1}O₃₂) □ nH₂O из рудника Уайтсмит, Стронтиан, Шотландия; 4 – эпистильбит из карьера Шиаторска Буковинка, Банска Бистрица, Словакия.

Fig. 5. Infrared spectra of zeolites: 1, 2 – goosecreekite from the Bulatovo quarry (1) and a quarry near Nashik township, Maharashtra, India (2); 3 – brewsterite-Sr with empirical formula (Sr_{1.4}Ba_{0.6}K_{0.1})(Si_{11.9}Al_{4.1}O₃₂) □ nH₂O from the Whitesmith Mine, Strontian, Scotland; 4 – epistilbite from the Šiatorská Bukovinka quarry, Banská Bystrica region, Slovakia.

Индии, что проявляется в небольших сдвигах полос в области O–H-валентных колебаний (3200–3600 см⁻¹) в высокочастотную область.

ИК спектр брьюстерита-Sr – цеолита, структурно родственного гускрикиту и характеризующегося частичной упорядоченностью Al и Si (кривая

3 на рис. 5) – подобен ИК спектру гускрикита, отличаясь от последнего большими величинами ширины и расщеплений полос валентных, смешанных и деформационных колебаний каркаса, а также более слабыми водородными связями. Еще большей упорядоченностью Al и Si и, соответственно, слабой

Таблица 2. Порошковые рентгенограммы гускрикита из Булатовского карьера (Южный Урал) и карьера Гус Крик (Виргиния, США)

Table 2. Powder X-ray diffraction data of goosecreekite from the Bulatovskiy quarry (South Urals) and Goose Creek quarry (Virginia, USA)

Гускрикит, Булатовский карьер		Гускрикит, карьер Гус Крик (JCPDS 84-1163)		<i>hkl</i>
<i>d</i> , Å	<i>I</i> ,%*	<i>d</i> , Å	<i>I</i> ,%	
8.693	15	8.7195	14	0 2 0
7.138	41	7.1339	43	1 0 0
6.997	50	7.0297	62	0 0 1
		6.6027	3	1 1 0
6.527	3	6.5199	3	0 1 1
5.849	4	5.8453	5	$\bar{1}$ 0 1
5.545	27	5.5422	45	$\bar{1}$ 1 1, 1 2 0
5.473	19	5.4727	32	0 2 1
4.856	67	4.8552	77	$\bar{1}$ 2 1
4.503	70	4.5063	67	1 3 0
4.472	100	4.4797	100	0 3 1
		4.3597	1	0 4 0
4.309	5	4.3116	7	1 1 1
4.117	22	4.1217	24	$\bar{1}$ 3 1
3.960	15	3.9635	12	1 2 1
3.699	9	3.7200	7	1 4 0
		3.7050	7	0 4 1
3.574	30	3.5898	6	$\bar{2}$ 0 1
		3.5669	9	2 0 0
		3.5498	7	$\bar{1}$ 0 2
		3.5334	9	1 3 1
3.491	34	3.5161	17	$\bar{2}$ 1 1, 0 0 2
		3.4946	27	$\bar{1}$ 4 1, 2 1 0
		3.4785	23	$\bar{1}$ 1 2
3.442	9	3.4456	8	0 1 2
3.325	34	3.3195	23	$\bar{2}$ 2 1
3.302	60	3.3013	48	2 2 0
3.257	39	3.2599	35	0 2 2
3.119	33	3.1333	19	1 5 0
		3.1243	25	0 5 1
		3.1141	18	1 4 1
3.037	44	3.0543	11	$\bar{2}$ 3 1
		3.0402	38	2 3 0
		3.0296	27	$\bar{1}$ 3 2
2.999	36	3.0078	38	0 3 2
2.892	23	2.9226	7	$\bar{2}$ 0 2
		2.9065	12	0 6 0
		2.8824	2	2 0 1, $\bar{2}$ 1 2
2.844	10	2.8472	10	2 1 1
		2.8271	3	1 1 2
2.772	10	2.7712	15	$\bar{2}$ 4 1, $\bar{2}$ 2 2
		2.7607	10	2 4 0

2.749	14	2.7527	13	$\bar{1}42$
		2.7450	11	151
		2.7397	11	221,042
		2.7218	3	122
2.687	15	2.6916	16	160
		2.6859	16	061
2.596	9	2.6111	4	$\bar{2}32$
		2.6025	9	$\bar{1}61$
		2.5849	8	231
		2.5698	7	132
2.478	4	2.5015	3	$\bar{2}51$
		2.4937	3	250
		2.4878	4	$\bar{1}52$
		2.4757	2	052
		2.4601	2	$\bar{3}01$
2.424	6	2.4276	9	$\bar{2}42, \bar{1}03$
		2.4064	2	241, $\bar{1}13$
		2.3943	3	142
2.376	9	2.3779	2	300
		2.3677	5	$\bar{3}21$
		2.3519	3	310, 170
2.337	24	2.3432	7	003
		2.3371	14	$\bar{1}23$
		2.3223	1	013
2.264	11	2.2918	7	320, $\bar{1}71$
		2.2629	5	$\bar{3}31, 023$
		2.2589	6	$\bar{2}61$
		2.2509	3	$\bar{2}03, \bar{3}12$
2.237	8	2.2401	11	$\bar{2}52, 062$
		2.2343	8	$\bar{2}13$
		2.2234	2	202, 251
2.200	4	2.2138	3	152
		2.2070	5	212
		2.2009	3	330
		2.1966	2	$\bar{3}22$
Параметры моноклинной ячейки*				
$a = 7.4008(9) \text{ \AA}$ $b = 17.421(3) \text{ \AA}$ $c = 7.288(1) \text{ \AA}$ $\beta = 105.42(2)^\circ$ $V = 905.8(2) \text{ \AA}^3$		$a = 7.401(3) \text{ \AA}$ $b = 17.439(6) \text{ \AA}$ $c = 7.293(3) \text{ \AA}$ $\beta = 105.44(4)^\circ$ $V = 907.31 \text{ \AA}^3$		

Примечание. Жирным шрифтом выделены наиболее сильные отражения. *Параметры моноклинной ячейки рассчитаны из порошкограммы для гускрикита из Булатовского карьера; монокристалльные данные – для гускрикита из карьера Гус Крик.

Note. The strongest reflections are typed in bold. *The unit cell parameters are calculated from the powder X-ray data for goosecreekite from the Bulatovskiy quarry; single-crystal X-ray data are given for goosecreekite from the Goose Creek quarry.

Таблица 3. Сравнительная характеристика некоторых кальциевых цеолитов
Table 3. Comparative data for several Ca-dominant zeolites

Минерал	Гускригит		Эпистильбит	Гейландит-Са	Ломонтит	Стеллерит	Стильбит-Са	Шабазит-Са	
	Булатовский карьер	Гус Крик, США							
Идеальная формула	CaAl ₂ Si ₄ O ₁₆ ·5H ₂ O		CaAl ₂ Si ₆ O ₁₆ ·5H ₂ O	(Ca, Na, K) ₃ (Si ₁₇ Al) _b O ₇₂ ·26H ₂ O	CaAl ₂ Si ₄ O ₁₂ ·4H ₂ O	Ca ₂ (Si ₂₈ Al ₈)O ₇₂ ·28H ₂ O	NaCa ₄ (Si ₁₇ Al ₉)O ₇₂ ·28H ₂ O	Ca ₂ [Al ₄ Si ₈ O ₂₄]·13H ₂ O	
Сингония, пространственная группа	Моноклиная P2 ₁		Моноклиная C2/m, Cm или C2	Моноклиная C2/m	Моноклиная C2/m	Ромбическая Fmm	Моноклиная F2/m	Гексагональная R3m	
a, Å	7.4008(9)	7.401(3)	9.08(1)	17.77(2)	14.724(9)	13.599(4)	13.6334	13.790(5)	
b, Å	17.421(3)	17.439(6)	17.74(1)	17.95(2)	13.075(6)	18.222(4)	18.2443		
c, Å	7.288(1)	7.293(3)	10.25(1)	7.435(7)	7.559(2)	17.863(3)	17.8449	15.040(4)	
β, °	105.42(2)	105.44(4)	124.54(5)	116.46(5)	112.01(3)	90.32	90.32		
V, Å ³	905.8(2)	907.31	1360.03	2123.12	1349.17	4426.47	4438.53	2476.89	
Z	2	2	3	4	4	8	1	1	
Сильные рефлексы на порошковой рентгенограмме d, Å (I, %)	6.997(50) 4.856(67) 4.503(70) 4.472(100) 3.302(60)	7.19(50) 5.59(50) 4.91(50) 4.53(100) 3.350(40)	8.89(90) 6.89(60) 4.91(65) 3.87(70) 3.45(100)	8.84(80) 7.80(70) 5.096(70) 3.917(100) 3.420(70)	9.50(60) 6.84(40) 4.16(100) 3.51(80) 3.27(55)	9.03(100) 4.655(15) 4.057(45) 3.028(23) 3.003(10)	9.13(100) 4.679(16) 4.065(58) 3.028(36) 2.780(21)	9.35(50) 5.02(30) 4.32(75) 3.87(30) 2.925(100)	
Цвет	Бесцветный, белый	Бесцветный, белый	Бесцветный, белый, розоватый, желтоватый	Бесцветный, белый, серый, желтый, красный, розовый, оранжевый, коричнево-черный	Белый, серый, розовый, желтоватый, коричневатый, золотисто-коричневый	Бесцветный, белый	Белый, желтоватый, серый, розовый, красноватый, оранжевый, коричневый	Белый, бесцветный, желтый, розовый, красный	
Блеск	Стеклянный	Стеклянный до жемчужного	Стеклянный	Стеклянный до жемчужного	Стеклянный до жемчужного	Стеклянный	Стеклянный до жемчужного	Стеклянный	
Плотность, г/см ³ : Измеренная Расчетная	2.24(2) 2.236	2.21(2) 2.23	2.22 – 2.28 2.266	2.10 – 2.20 2.17	2.23 – 2.41 2.25	2.13(1) 2.12	2.19(1) 2.23	2.05 – 2.20 2.035	
Источник	Настоящая статья	Dunn et al. (1980); Rouse, Peacor (1986)	Anthony et al. (2000)			Anthony et al. (2000); www.mincrust.iem.ac.ru			

разрешенностью полос колебаний каркаса, а также еще более слабыми водородными связями характеризуется диморф гускрикита эпистильбит (кривая 4 на рис. 5). Интенсивные полосы на всех четырех спектрах в диапазоне 1627–1640 см⁻¹ относятся к деформационным колебаниям молекул H₂O.

Последовательность минералообразования в гранитных пегматитах, вскрытых Булатовским карьером, подробно описан в работе (Попов и др., 2017). Кристаллизация началась с образования мелкографических сростаний кварца с микроклином и альбитом. Одновременно с ними кристаллизовался биотит (флогопит). Далее образовались агрегаты с тригональным кварцем, пренитом, клинохлором и другими минералами. Все диагностированные нами цеолиты, включая гускрикит, являются поздними минералами пегматитов и имеют кальциевую специализацию. Сравнительная характеристика некоторых Са-доминантных цеолитов приведена в таблице 3. Цеолиты нарастают на ранние минералы в полостях и щелях, нередко после некоторого растворения этих ранних минералов. Интересно отметить, что при отделении измеренного кристалла гускрикита от друзы кварца и микроклина вскрылась небольшая индукционная поверхность их совместного одновременного роста, что говорит об их парагенетичности в конце роста дымчатого кварца и полевого шпата.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате детального исследования при помощи современных методов в одной из пегматитовых жил Булатовского каменного карьера на Южном Урале впервые на территории Российской Федерации обнаружен и охарактеризован редкий минерал из группы цеолитов гускрикит CaAl₂Si₆O₁₆ · 5H₂O. Полученные данные химического состава, порошковая рентгенограмма и инфракрасный спектр хорошо согласуются с опубликованными в литературе данными для гускрикита. Впервые выполнен чертеж природного кристалла и проиндексированы все его грани. Находка гускрикита свидетельствует в пользу целесообразности дальнейших работ по поиску других редких цеолитов на Булатовском карьере.

ЛИТЕРАТУРА

- Попов В.А., Епанчинцев С.Г., Касаткин А.В. (2017) Минералогия гранитных пегматитов в районе Булатово Уйского района Челябинской области. *Всероссийские научные чтения памяти ильменского минералога В.О. Полякова*. Миасс, ИМин УрО РАН, 12–22.
- Пужаков Б.А., Шох В.Д., Шулькина Н.Е., Шулькин Е.П., Долгова О.Я., Орлов М.В., Попова Т.А., Тарелкина Е.А., Иванов А.В. (2018) Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:200 000, 2-е изд. Серия Южноуральская. Лист N-41-XIII (Пласт). М., Московский филиал ФГБУ ВСЕГЕИ, 205 с.
- Anthony J.W., Bideaux R.A., Bladh K.W., Nichols M.C. Eds. (2000) *Handbook of Mineralogy*. Mineralogical Society of America, Chantilly, VA 20151-1110, USA.
- Dunn P.J., Peacor D.R., Newberry N., Ramik R.A. (1980) Goosecreekite, a new calcium aluminum silicate hydrate, possibly related to brewsterite and epistilbite. *The Canadian Mineralogist*, 18, 323–327.
- Gaines R.V., Skinner H.C.W., Foord E.E., Mason B., Rosenzweig A. (1997) Goosecreekite. *Dana's New Mineralogy*, 8th ed., 1695–1696.
- Hampel W., Keck E. (1990) Goosecreekite von der Oberbaumühle bei Windisch-Eschenbach (Oberpfalz). *Lapis*, 13, 40–41 (in German).
- Holland T.J.B., Redfern S.A.T. (1997) Unit cell refinement from powder diffraction data: the use of regression diagnostics. *Mineralogical Magazine*, 61, 65–77. <https://doi.org/10.1180/minmag.1997.061.404.07>
- Nordrum F.S. (2002) Nyfunn av mineraler i Norge 2001–2002. *STEIN. Nordisk magasin for populær geologi*, 29, 4–10 (in Norwegian).
- Ottens B. (2003) Minerals of the Deccan traps, India. *The Mineralogical Record*, 34, 1–82.
- Ottens B., Hochleitner R. (1985) Goosecreekite aus den indischen Zeolith-Lagerstätten. *Lapis*, 10, 22 (in German)
- Ottens B., Götze J., Schuster R., Krenn K., Hauzenberger C., Zsolt B., Vennemann T. (2019) Exceptional multi stage mineralization of secondary minerals in cavities of flood basalts from the Deccan volcanic province, India. *Minerals*, 9(6), 351; <https://doi.org/10.3390/min9060351>.
- Raade G., Berg H.-J. (2002) Powder X-ray diffraction data for goosecreekite [CaAl₂Si₆O₁₆ □ 5H₂O]. *Powder Diffraction*, 17, 247–249. <https://doi.org/10.1154/1.1469024>.
- Rouse R.C., Peacor, D.R. (1986) Crystal structure of the zeolite mineral goosecreekite CaAl₂Si₆O₁₆·5H₂O. *American Mineralogist*, 71, 1494–1501.
- Slaughter M., Kane W.T. (1969) The crystal structure of a disordered epistilbite. *Zeitschrift für Kristallographie*, 130, 68–87.
- Zeledón L.A. (2004) Zeolitas del Valle Central de Costa Rica y sus alrededores. *Revista Geológica de América Central*, 31, 67–80 (in Spanish).

REFERENCES

- Anthony J.W., Bideaux R.A., Bladh K.W., Nichols M.C. Eds. (2000) Handbook of Mineralogy. Mineralogical Society of America, Chantilly, VA 20151-1110, USA.
- Dunn P.J., Peacor D.R., Newberry N., Ramik R.A. (1980) Goosecreekite, a new calcium aluminum silicate hydrate, possibly related to brewsterite and epistilbite. *The Canadian Mineralogist*, 18, 323–327.
- Gaines R.V., Skinner H.C.W., Foord E.E., Mason B., Rosenzweig A. (1997) Goosecreekite. *Dana's New Mineralogy*, 8th ed., 1695–1696.
- Hampel W., Keck E. (1990) Goosecreekit von der Oberbaumühle bei Windisch-Eschenbach (Oberpfalz). *Lapis*, 13, 40–41 (in German).
- Holland T.J.B., Redfern S.A.T. (1997) Unit cell refinement from powder diffraction data: the use of regression diagnostics. *Mineralogical Magazine*, 61, 65–77. <https://doi.org/10.1180/minmag.1997.061.404.07>
- Nordrum F.S. (2002) Nyfunn av mineraler i Norge 2001-2002. *STEIN. Nordisk magasin for populær geologi*, 29, 4–10 (in Norwegian).
- Ottens B. (2003) Minerals of the Deccan traps, India. *The Mineralogical Record*, 34, 1–82.
- Ottens B., Hochleitner R. (1985) Goosecreekit aus den indischen Zeolith-Lagerstätten. *Lapis*, 10, 22 (in German)
- Ottens B., Götze J., Schuster R., Krenn K., Hauzenberger C., Zsolt B., Vennemann T. (2019) Exceptional multi stage mineralization of secondary minerals in cavities of flood basalts from the Deccan volcanic province, India. *Minerals*, 9(6), 351; <https://doi.org/10.3390/min9060351>.
- Popov V.A., Epanchintsev S.G., Kasatkin A.V. (2017) Mineralogy of granitic pegmatites near Bulatovo, Uy region, Chelyabinsk oblast. *Vserossiyskie nauchnye chteniya imeni ilmenskogo mineralogy V.O. Polyakova (All-Russian Scientific Readings in Memory of the Ilmeny Mineralogist V.O. Polyakov)*. Miass, IMin UrO RAN, 12–22 (in Russian).
- Puzhakov B.A., Shokh V.D., Shchulkin N.E., Shchulkin E.P., Dolgova O.Ya., Orlov M.V., Popova T.A., Tarelkina E.A., Ivanov A.V. (2018). State geological map of the Russian Federation. Scale 1 : 200 000, 2nd ed. South Urals series. Sheet N-41-XIII (Plast). Moscow, VSEGEI, 205 p. (in Russian)
- Raade G., Berg H.-J. (2002) Powder X-ray diffraction data for goosecreekite [CaAl₂Si₆O₁₆ □ 5H₂O]. *Powder Diffraction*, 17, 247–249; DOI: 10.1154/1.1469024.
- Rouse R.C., Peacor, D.R. (1986) Crystal structure of the zeolite mineral goosecreekite CaAl₂Si₆O₁₆·5H₂O. *American Mineralogist*, 71, 1494–1501.
- Slaughter M., Kane W.T. (1969) The crystal structure of a disordered epistilbite. *Zeitschrift für Kristallographie*, 130, 68–87.
- Zeledón L.A. (2004) Zeolitas del Valle Central de Costa Rica y sus alrededores. *Revista Geológica de América Central*, 31, 67–80 (in Spanish).

Информация об авторах

Касаткин Анатолий Витальевич – ведущий специалист, Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН, г. Москва, Россия; anatoly.kasatkin@gmail.com

Чуканов Никита Владимирович – доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр проблем химической физики и медицинской химии РАН, г. Черноголовка, Московская обл., Россия; nikchukanov@yandex.ru

Попов Владимир Анатольевич – доктор геолого-минералогических наук, научный сотрудник, Южно-Уральский федеральный научный центр минералогии и геоэкологии УрО РАН, г. Миасс, Челябинская обл., Россия; popov@mineralogy.ru

Кузнецов Алексей Михайлович – коллекционер, г. Челябинск, Россия; alexmith@mail.ru.

Information about the authors

Anatoly V. Kasatkin – Leading Researcher, Fersman Mineralogical Museum RAS, Moscow, Russia; anatoly.kasatkin@gmail.com.

Nikita V. Chukanov – Doctor Phys.-Math. Sci., Chief Researcher, Federal Research Center of Problems of Chemical Physics and Medicinal Chemistry RAS, Chernogolovka, Moscow region, Russia; nikchukanov@yandex.ru

Vladimir A. Popov – Doctor Geol.-Mineral. Sci., Scientific Researcher, South Urals Federal Research Center of Mineralogy and Geoecology UB RAS, Miass, Chelyabinsk district, Russia; popov@mineralogy.ru

Alexey M. Kuznetsov – collector, Chelyabinsk, Russia; alexmith@mail.ru