

УДК 549:514.91(470.55)

**ПЕРВЫЕ НАХОДКИ БАДДЕЛЕИТА
В ЩЕЛОЧНОМ КОМПЛЕКСЕ ВИШНЕВЫХ ГОР НА ЮЖНОМ УРАЛЕ****В.А. Попов, И.А. Блинов***Институт минералогии УрО РАН, Россия, г. Миасс, Россия; popov@mineralogy.ru***FIRST FINDS OF BADDELEYITE IN ALKALINE COMPLEX
OF THE VISHNEVYE MOUNTAINS, SOUTH URALS****V.A. Popov, I.A. Blinov***Institute of Mineralogy UB RAS, Miass, Russia; popov@mineralogy.ru*

Бадделеит ZrO_2 диагностирован в широко распространённых парагенезисах с цирконом в щелочных пегматитах Вишневогорского комплекса. В составе бадделеита установлены примеси Hf, Nb, Ca. Прогнозируется его распространённость в виде мелкого акцессорного минерала во многих породах и пегматитовых телах Вишневогорско-Ильменогорского щелочного комплекса.

Илл. 6. Табл. 1. Библ. 6.

Ключевые слова: бадделеит, щелочной комплекс пород, Южный Урал.

Baddeleyite ZrO_2 is identified in abundant assemblages with zircon in alkali pegmatites of the Vishnevogorsky complex. The mineral contains Hf, Nb, and Ca in chemical composition. Its occurrence in form of accessory mineral is predicted for various rocks and pegmatite bodies of the Vishnevogorsko-Ilmenogorsky alkaline complex.

Figures 6. Tables 1. References 6.

Key words: baddeleyite, alkaline rock complex, South Urals.**Введение**

Бадделеит ZrO_2 на Урале, по данным А.И. Белковского и А.Р. Нестерова (2016), впервые был предположен Л.Н. Угрюмовой в 1985 году в пробах Н.А. Мамина из россыпей Граневого Лога и Сухого Карабая (бассейн р. Юрья) на Среднем Урале. Это были мелкие (менее 1 мм) округлые зёрна серого цвета с жирным блеском. Микронзондом установлено высокое содержание циркония с небольшой примесью кремния. Достоверно бадделеит изучен в концентрически-зональном теле хлоритолитов среди серпентинитов Куртинского комплекса Уфалейского блока (Белковский, Нестеров, 2016). Линза массивных титанклиногумит-клинохлоровых пород была отделена от вмещающих серпентини-

тов агрегатом крупнокристаллического титанклиногумита. В хлорит-титанклиногумитовом агрегате бадделеит развит в виде мелких вростков (0.02–0.1 мм) совместно с Мп-пикроильменитом, циркелитом, кальцитритом, магнетитом, монацитом-(Nd) и редкоземельным апатитом. В перовските Ахматовской копи на Южном Урале мелкие зёрна бадделеита наблюдались А.Р. Нестеровым. Бадделеит обнаружен также в «апогаббровых» родингитах Баженовского месторождения (Попель и др., 1997) и в везувианитах среди родингитов (Ерохин, 2017), где отмечалось, что бадделеит величиной 10–15 мкм (содержащий 2.6 мас. % HfO_2 и малые примеси Ti, Si, Al, Ca, Fe) вместе с гиттинситом $CaZrSi_2O_7$ частично заместил первичный акцессорный циркон.

По материалам разных публикаций (Здорик, 1989; и др.) можно предположить, что бадделеит генетически связан преимущественно с карбонатитовыми и карбонатит-скарновыми подсистемами щелочных и щёлочно-ультрамафитовых систем. В большинстве уральских объектов бадделеит выделился в виде весьма мелких зёрен, и его диагностика обязана микронзондовым исследованиям. В щелочном комплексе Ильменских-Вишнёвых гор следовало ожидать присутствия бадделеита в редкометалльных парагенезисах щелочных горных пород и пегматитов. Ниже приведены данные о первых находках бадделеита в Вишнёвых горах – на горе Каравай и в Курочкином Логу (рис. 1). Исследования состава проведены электронно-зондовым методом (SEM Tescan Vega 3, с ЭДС, аналитик И.А. Блинов), аннит-эгириновые срастания гониометрически исследованы с использованием столика Е.С. Фёдорова.

Акцессорный бадделеит в пегматитах жилы № 5 на горе Каравай

Щелочные пегматиты жилы № 5 в миаскитах горы Каравай (рис. 2) известны находками крупных кристаллов циркона, пироклора, ильменита, магнетита, анальцима, полевых шпатов, нефелина, биотита. Многие прозрачные минералы пегматитов обладают видимой цветовой зональностью и секториальностью (Попова, Чесноков, 1980). В непрозрачных минералах неоднородность не видна. Для выявления анатомической картины в ильмените крупный кристалл был распилен через геометрический центр перпендикулярно граням $\{0001\}$. В отражённых электронах при малых увеличениях в кристалле не заметна неоднородность (рис. 3а). Частично зональность и секториальность кристалла заметна по данным двух профилей в конкретных точках: в поздней зоне роста в пирамиде нарастания $\langle 10\bar{1}1 \rangle$ есть обогащение Al (см. табл., ан. 1) и нет Mg, а в поздней зоне роста в $\langle 0001 \rangle$ (ан. 6) нет Mg, но больше Nb. При больших увеличениях на общем однородном поле ильменита на BSE-снимках видны мелкие яркие точки (см. рис. 3б, в), которые по составу отвечают бадделеиту (рис. 4). Выделения бадделеита имеют величину 1–5 мкм, что не позволило сделать количественный анализ

Рис. 2. Вид на гору Каравай с горы Долгой.

Fig. 2. View of Mt. Karavay from Mt. Dolgaya.

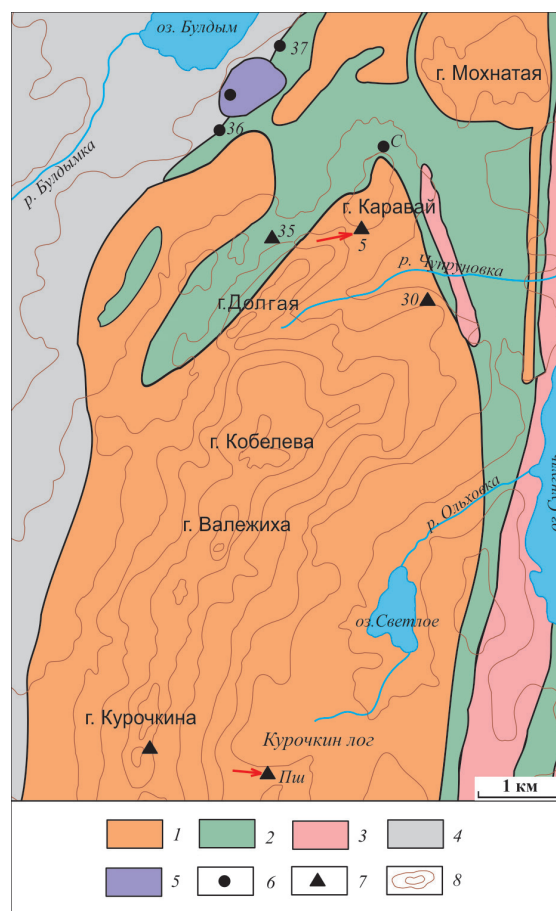


Рис. 1. Местоположение жилы № 5 и жил Курочкина Лога на геологической схеме Вишнёвых гор по (Бонштедт-Куплетская, 1951).

1 – миаскиты, 2 – щелочные сиениты, 3 – гранито-гнейсы, 4 – амфиболиты, кристаллические сланцы, 5 – серпентиниты, 6 – пегматиты сиенитовые, 7 – пегматиты миаскитовые, 8 – изогипсы рельефа.

Fig. 1. Location of vein no. 5 and veins of Kurochkin Log after (Bonshtedt-Kupletskaya, 1951).

1 – miaskite, 2 – alkali sienite, 3 – granite gneiss, 4 – amphibolite, 5 – serpentinite, 6 – syenitic pegmatite, 7 – miaskitic pegmatite, 8 – isohypses of relief.



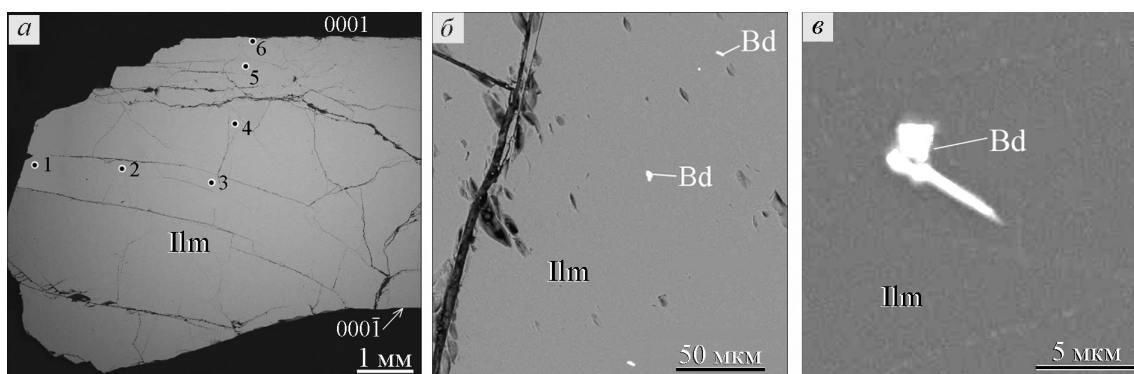


Рис. 3. Включения бадделеита в ильмените.

a–в – пояснения в тексте. BSE фото.

Fig. 3. Inclusion of baddeleyite in ilmenite.

a–в – see text for explanations. BSE image.

Таблица

Химический состав ильменита в разных участках кристалла (мас. %)

Table

Chemical composition of ilmenite in various domains of crystal (wt. %)

№ ан.	MgO	Al ₂ O ₃	TiO ₂	MnO	FeO	Nb ₂ O ₅	Сумма
1	–	0.34	47.82	4.67	45.49	0.91	99.23
2	0.34	–	48.17	4.59	45.66	1.00	99.76
3	0.4	–	47.88	4.54	45.77	0.93	99.52
4	0.4	–	47.81	4.43	45.68	1.06	99.38
5	0.25	–	48.15	4.68	46.79	1.02	100.89
6	–	–	48.91	4.66	45.41	1.05	100.03

Примечание. Номера анализов соответствуют номерам точек на рис. 3а.

Note. Numbers of analysis correspond to the numbers of points in Fig. 3a.

минерала, но ясно, что небольшая примесь Ca принадлежит бадделеиту. Форма кристаллов бадделеита, судя по сечениям, таблитчатая. Бадделеит кристаллизовался одновременно с вмещающим ильменитом. Его мелкие включения распределены в ильмените равномерно и не принадлежат ни трещинам, ни поверхности кристалла ильменита. Ильменит вместе с бадделеитом образует парагенезис с полевыми шпатами, биотитом, цирконом, пироксеном и кальцитом.

Акцессорный бадделеит в щелочном пегматите Курочкина лога

Две широтных линзы щелочных нефелин-полевошпатовых пегматитов среди миаскитов Полевошпатового рудника в Курочкином логу задокументированы и минералогически изучены в 1943 году Э.М. Бонштедт-Куплетской (1951). Ею отмечена сложная и «чрезвычайно интересная» минералогия пегматитовых линз этого «классического месторождения». С тех пор новых горных разработок не велось, но проводились научные экскурсии на ста-

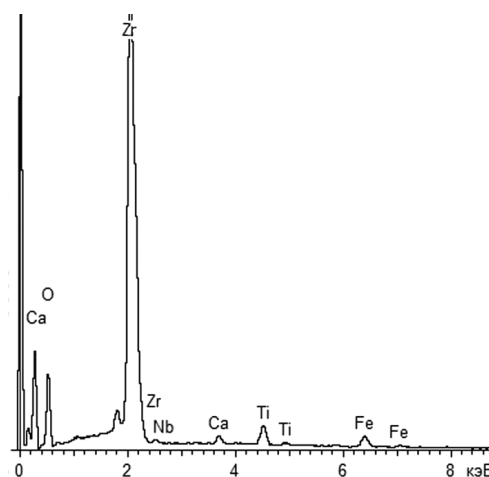


Рис. 4. Энергодисперсионный спектр бадделеита в ильмените.

Fig. 4. ED spectrum of baddeleyite in ilmenite.

рый Полевошпатовый рудник. В одной из таких экскурсий нами отобраны образцы гигантозернистых нефелина и канкринита для изучения ориентированных сростаний эгирина и биотита, включённых в индивиды нефелина и канкринита (рис. 5а). Ранее сростания эгирина с биотитом в Вишнёвогорском комплексе рассматривались как псевдоморфозы



Рис. 5. Аннит-эгириновые сростки (чёрные) в нефелин-канкринитовом агрегате (а) и модель ориентированного сростка аннита с эгирином (б).

Fig. 5. Annite-aegirine intergrowths (black) in nepheline-cancrinite aggregate (a) and a model of oriented intergrowth of annite with aegirine (b).

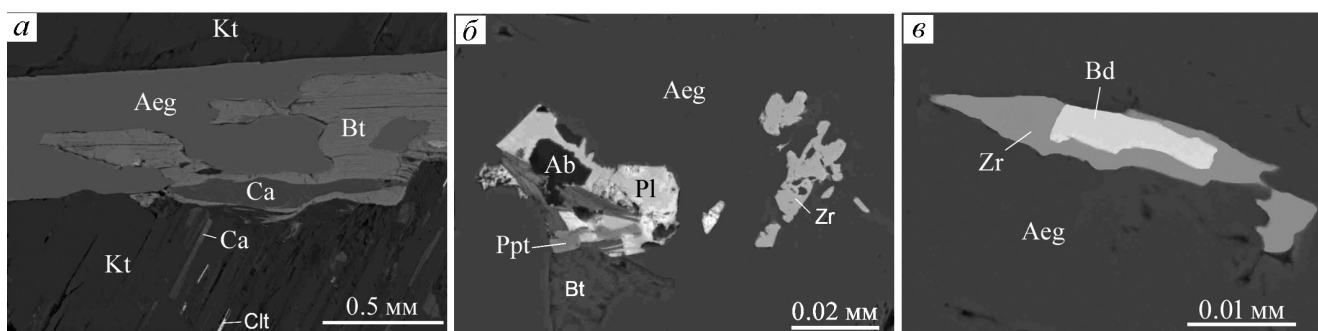


Рис. 6. Детали сростаний минералов в пегматитах Курочкина Лога.

а – ориентированный сросток эгирина (Aeg) с аннитом (Bt) в канкрините (Kt) с кальцитом (Ca) и целестином (Clt); б – пирохлор (Pcl), циркон (Zr) и пирофанит (Ppt) в эгирине; в – циркон и бадделеит (Bd) в эгирине. BSE фото.

Fig. 6. Details of mineral intergrowths in pegmatites of Kurochkin Log.

а – oriented aggregate of aegirine (Aeg) with annite (Bt) in cancrinite (Kt) with calcite (Ca) and celestine (Clt); б – pyrochlore (Pcl), zircon (Zr) and pyrophanite (Ppt) in aegirine; в – zircon and baddeleyite (Bd) in aegirine. BSE image.

или неполные псевдоморфозы биотита по эгирину (Бонштедт-Куплетская, 1951, с. 29). Препарирование поверхностей между индивидами эгирина и биотита показало, что они относятся к классу индукционных, т.е. поверхностей одновременного роста. Индивиды биотита (аннита) росли гранями базопинакоида {001} параллельно граням первого пинакоида {100} эгирина (см. рис. 5б). Синтаксические сростания биотита с пироксеном широко развиты в Ильменогорско-Вишневогорском комплексе.

В процессе микронзондовых исследований полированных препаратов среди зёрен эгирина, биотита, нефелина и канкринита обнаружены мелкие включения бадделеита, циркона, пирохлора, пи-

рофанита, кальцита, альбита и других минералов (рис. 6). Включения бадделеита в породообразующих минералах оказались несколько крупнее (до 10 мкм), чем были отмечены в ильмените жилы № 5, что позволило получить количественный анализ минерала (мас. %): ZrO_2 94.04, Nb_2O_5 2.45, FeO 1.57, HfO_2 1.94, который рассчитывается на формулу $(\text{Zr}_{0.94}\text{Fe}_{0.03}\text{Nb}_{0.02}\text{Hf}_{0.01})\text{O}_2$. На большинстве зёрен видны индукционные границы одновременного роста с другими минералами, в том числе – с цирконом (см. рис. 6в). Признаков замещения друг друга между цирконом и бадделеитом не обнаружено. На одном из сколов канкринита частично вскрыта головка кристалла бадделеита, по которой узнаётся таблитчатая форма кристалла.

Парагенезис бадделеита в пегматитовых жилах Курочкина Лога обширен, и состав отдельных минералов имеет некоторые особенности, что видно в их эмпирических кристаллохимических формулах по результатам микрозондового анализа: аннит $(K_{0.94}Na_{0.03}Ca_{0.03})(Fe_{1.77}Mg_{0.63}Mn_{0.46}Al_{0.09}Ti_{0.05})(Al_{1.25}Si_{2.75})O_{10}(OH)_2$ – из синтаксического сростка с эгирином $Na(Fe_{0.89}Ca_{0.04}Mg_{0.03}Al_{0.02}Mn_{0.01}Ti_{0.01})(Si_{1.94}Al_{0.06})O_6$; пиропанит $(Mn_{0.93}Fe_{0.07})TiO_3$ – самый маложелезистый из известных в Вишнёвых горах; циркон $(Zr_{0.97}Nb_{0.02}Hf_{0.01})SiO_4$ – из контакта с бадделеитом. В ближайшем окружении бадделеита найдены также синхронные с ним пироксид, чевкинит, сфалерит, галенит, целестин, альбит, кальцит.

Заключение

Парагенезисы минералов в щелочных пегматитах двух рассмотренных участков Вишневогорского комплекса являются широко распространёнными в пределах Ильменогорско-Вишневогорского комплекса пород. В таких парагенезисах практически всюду известен циркон как акцессорный минерал. Индивиды циркона варьируют от крупных до весьма мелких. Бадделеит пока найден только в очень мелких выделениях, практически не различимых под бинокляром. По-видимому, это обстоятельство определило его позднее обнаружение. Использование микрозондовых исследований приведёт к широкому установлению бадделеита в Вишнёвых и Ильменских горах. Возможны находки бадделеита и в более крупных выделениях.

Исследования проведены по госбюджетной теме АААА-А17-1/7020250032-1.

Литература

- Белковский А.И., Нестеров А.Р.** (2016) Бадделеитовая минерализация в камафоритах Главного Уральско-го коллизионного шва (Уфалейский метаморфический блок, Средний Урал). *Минералогия*, 2(2), 44–52.
- Бонштедт-Куплетская Э.М.** (1951) Минералогия щелочных пегматитов Вишнёвых гор. М., АН СССР, 176 с. (с приложениями).

Ерохин Ю.В. (2017) Минералогия родингитов Баженовского месторождения (Средний Урал). *Минералогический альманах*, 22(3), 136 с.

Здорик Т.Б. (1989) Бадделеит / Типоморфизм минералов: справочник. М., Недра, 62–68.

Попель И.А., Нестеров А.Р., Антонов А.А. (1997) О находке бадделеита в родингитах Баженовского месторождения (Средний Урал). *Уральская летняя минералогическая школа-97*, Екатеринбург, УГГА, 218–219.

Попова В.И., Чесноков Б.В. (1980) Анатомия кристаллов циркона из щелочных пегматитов Вишнёвых гор / *Онтогенез пегматитов Урала*. Свердловск, УНЦ АН СССР, 91–101.

References

- Belkovsky A.I., Nesterov A.R.** (2016) [Baddeleyite in camaphorites of the Main Uralian collisional suture (Ufaley metamorphic block, Central Urals)]. *Mineralogiya [Mineralogy]*, 2(2), 44–52. (in Russian)
- Bonshtedt-Kupletskaya E.M.** (1951) [Mineralogy of alkali pegmatites of the Vishnevy Mountains]. М., USSR Academy of Sciences, 175 p. (in Russian)
- Erokhin Yu.V.** (2017) [Mineralogy of rodingites of the Bazhenovskoe deposit (Central Urals)]. *Mineralogicheskiiy Amanakh. [Mineralogical Almanac]*, 22 (3). 136 p. (in Russian)
- Popel I.A., Nesterov A.P., Antonov A.A.** (1997) [Find of baddeleyite in rodingites of the Bazhenovskoe deposit (Central Urals)]. *Materialy Uralskoy letney mineralogicheskoy shkoly [Materials of the Urals Summer Mineralogical School]*, Yekaterinburg, UGGA, 218–219. (in Russian)
- Popova V.I., Chesnokov B.V.** (1980) [Anatomy of zircon crystals of alkali pegmatites from the Vishnevy Mountains]. *Ontogeniya pegmatitov Urala [Ontogeny of Pegmatites of the Urals]*. Sverdlovsk, UNC AN SSSR, 91–101. (in Russian)
- Zdorik T.B.** (1989) [Baddeleyite]. In: *Tipomorfizm mineralov: spravochnik [Typomorphism of Minerals: Reference Book]*. Moscow, Nedra, 62–68. (in Russian)

Поступила в редакцию 6 марта 2018 г.