

Находка бадделеита в среднедевонских терригенных отложениях асывовожской свиты (Южный Тиман)

Гракова О.В.

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

Аннотация. В среднедевонских алмазосодержащих отложениях асывовожской свиты на юге Тимана был найден бадделеит в виде очень мелких единичных зерен. Он установлен в кварц-глинистом цементе гравелита и представлен удлинёнными зёрнами, размером около 15 мкм. Количественный анализ минерала показал, что помимо ZrO_2 в нем содержатся изоморфные примеси HfO_2 (от 2.09 до 2.32 мас. %), TiO_2 (до 0.7–1 мас. %) и FeO (0.62–0.78 мас. %). Формула бадделеита – $(Zr_{0.95}Fe_{0.02}Hf_{0.01}Ti_{0.01})_{\Sigma 0.99}O_2$. Величина Zr/Hf в бадделеите составляет 38–46. Бадделеит замещается цирконом, в краевых частях кристалла присутствует примесь SiO_2 (до 8.48 мас. %), повышенное содержание SiO_2 может быть связано с наследованием состава окружающего кварца. Проведенные исследования показали, что бадделеит в отложениях асывовожской свиты является аллотигенным минералом, небольшие размеры зерен минерала не позволяют дать однозначный ответ на вопрос о составе материнских пород, возможно, ими могли быть кимберлиты. Отмечается сходство исследованных зерен с бадделеитами из кимберлитовых тел: по морфологии и форме кристаллов, химическому составу, соотношению элементов край/центр и Zr/Hf отношению. В отложения асывовожской свиты бадделеит, совместно с другими устойчивыми минералами, переносился в результате транспортировки и накапливался в терригенных образованиях. В гипергенных условиях происходит реакционное замещение минерала новообразованным цирконом. В дальнейшем планируется пополнить коллекцию бадделеита и провести дополнительные исследования с целью установления его изотопного возраста и более точной оценки состава пород, послужившие источником сноса этого минерала.

Ключевые слова: бадделеит, среднедевонские терригенные отложения, Южный Тиман.

Finding of baddeleyite in the Middle Devonian terrigenous deposits of the Asyvvozh Formation (Southern Timan)

Grakova O.V.

Institute of Geology, FIC Komi Scientific Center, Ural Branch, Russian Academy of Sciences, Syktyvkar, ovgrakova@geo.komisc.ru

Abstract. Baddeleyite was found in the Middle Devonian diamond-bearing deposits of the Asyvvozh Formation in the Southern Timan as very small single grains. It is observed in quartz-argillaceous cement gravelite as elongated grains, about 15 μm in size. Quantitative analysis of the mineral showed that, in addition to ZrO_2 , it contains isomorphous impurities HfO_2 (from 2.09 to 2.32 wt. %), TiO_2 (up to 0.70–1.00 wt. %) and FeO (0.62–0.78 wt. %). The baddeleyite formulae is $(Zr_{0.95}Fe_{0.02}Hf_{0.01}Ti_{0.01})_{\Sigma 0.99}O_2$. The Zr/Hf value in baddeleyite is 38–46. Baddeleyite is replaced by zircon; up to 8.48 wt. % SiO_2 is present in the marginal parts of the crystal; the increased content of SiO_2 may be due to inheritance from the surrounding quartz. The conducted studies have shown that baddeleyite in the deposits of the Asyvvozh Formation is an allothigenic mineral. The small size of mineral grains does not allow us to give an unambiguous answer to the question of the composition of the parent rocks, although it is possible that they could be kimberlites. One can note their similarity with baddeleyites from kimberlite bodies: in morphology and shape of crystals, chemical composition, edge/centre element ratio, and Zr/Hf ratio. In the deposits of the Asyvvozh Formation, baddeleyite, together with other stable minerals, was transported and accumulated as a result of transportation. Under hypergenic conditions, the mineral is reactively replaced by newly formed zircon. In the future, it is planned to replenish the collection of baddeleyite and conduct additional studies in order to establish its isotopic age and more accurately estimate the composition of the rocks that served as a source for removal of this mineral.

Keywords: baddeleyite, Middle Devonian terrigenous deposits, Southern Timan.

Введение

В отложениях асывовожской свиты в карьере Асывовож на Южном Тимане в 1988 г. в ходе геолого-поисковых работ было обнаружено пять мелких (0.5 мм) алмазов (Терешко, 1991). Их на-

ходки приурочены к базальным и средним частям разреза среднедевонских терригенных отложений. Ранее нами проведено литолого-минералогическое изучение этих отложений (Гракова, 2021). В ходе экспедиционных исследований на Южном Тимане в 2021 г. впервые установлен моноклинный диоксид циркония – бадделеит.

Бадделеит – характерный минерал апатит-форстеритовых пород и магнетитовых руд, карбонатитов и доломит-флогопитовых пород. Как акцессорный минерал, он встречается в кимберлитах, в кварцевых брекчиях, в габброидах расслоенных базит-гипербазитовых массивов, в щелочных и нефелиновых сиенитах, пегматитах нефелиновых сиенитов; в фенитах экзоконтактного ореола, на контактах щелочных интрузивов с карбонатными породами. Бадделеит устойчив в гипергенных условиях и накапливается в россыпях совместно с рутилом, касситеритом, цирконом, ильменитом, корундом, шпинелью, турмалином (Здорик, 1989). Морфологические особенности и химический состав бадделеита дают дополнительную информацию об условиях его образования, что может помочь в решении вопроса об условиях формирования, размещения и строения алмазопоявлений Тимана.

Методы исследований

Объектом нашего исследования является бадделеит из отложений асывожской свиты. Образец гравелита асывожской свиты был помещен в эпоксидную шашку и изучен на электронном микроскопе. Микронзондовые исследования проводились на сканирующем электроном микроскопе TESCAN VEGA 3 LMN с энергодисперсионной приставкой X-MAX 50 mm² Oxford instruments при ускоряющем напряжении 20 кВ, размер пучка 180 нм и области возбуждения до 5 мкм с использованием программного обеспечения Aztec (ЦКП «Геонаука» ИГ Коми НЦ УрО РАН). (Аналитик Е.М. Тропников). Калибровка производилась по кобальту (Co). В качестве дополнительных стандартов используются 55 стандартов фирмы Micro-Analysis Consultants ltd.

Геологическая характеристика отложений

На юге Тимана среднедевонские отложения, в которых были установлены алмазы, находятся в северо-западной части возвышенности Джежимпарма и представлены асывожской свитой (D₂₋₃as). Изучаемые породы залегают на песчаниках джежимской свиты верхнего рифея и перекрываются четвертичными отложениями. Асывожская свита состоит из разнозернистых песчаников с прослоями и линзами кварцевых гравелитов и глин. Песчаники кварцевые светло-серого, серого и розовато-кремового цветов. Присутствуют прослои коричневатого-рыжего и темно-серого песчаника, что связано с ожелезнением и омарганцеванием пород. Отмечаются каолиновые глины светло-серого и черного цвета. Черная окраска отложений связана с содержанием углефицированных остатков растений.

Установлено, что разрезы двух разных частей одного и того же обнажения отложений асывожской свиты плохо сопоставимы друг с другом, различаются разной размерностью минералов, грубостью материала, плохой сортированностью, присутствием углистых компонентов (Гракова, 2021). Вверх по разрезу размер частиц не изменяется, что объясняется выклиниванием отдельных слоев, наблюдаемой косой слоистости, тектоническим смещением отдельных слоев. Можно сказать, что в раннеасывожское время наблюдались динамичные условия осадконакопления. Вероятно, отложения накапливались в аллювиальной обстановке, песчаники образовывались за счет материала под действием сильных течений, глинистый материал обязан своим происхождением мертвым руслам. Вероятно, отложения асывожской свиты – это древний аллювий, который накапливался за счет ветвящихся рек (Селли, 1989). Существует точка зрения, что они были сформированы в мелководной морской обстановке в условиях теплого климата (Никулова и др., 2020).

В результате минералогического анализа тяжелой фракции шлихов в составе акцессорных минералов асывожской свиты обнаружены гранат, циркон, оксиды титана (рутил, ильменит, лейкоксен, анатаз брукит, ильменорутит), минералы редких земель (монацит, ксенотим), тантало-ниобаты (танталит), корунд, турмалин, шпинель, ставролит, эпидот, амфибол, пироксен, пиритом, гидрогетит, глауконит, лазулит, флоренсит, хромшпинелид, касситерит, сфалерит, магнетит, гидроокис-

лы Fe, барит, кианит, апатит, уваровит, титанит, самородная медь, золото, алмазы. Основная масса тяжелой фракции представлена минералами оксида титана, цирконом и турмалином. Проведенные минералогические исследования показали осадочное формирование отложений асывовожской свиты (Гракова, 2014). Они образовались при размыве сильно выветрелого гетерогенного субстрата. Большая часть размываемых пород относятся к кислым магматическим и метаморфическим образованиям, на это указывает высокое содержание в них акцессорного циркона и турмалина, присутствие ставролита и химические составы индикаторных минералов. Хорошая сохранность рутила, наличие амфибола, слабая окатанность многих минералов и характерные черты их химических составов позволили предположить, что материнские породы не могли находиться на большом удалении (Гракова, 2021).

Так как основная часть алмазов в россыпях сосредоточена в грубообломочных породах, нами был изучен сцементированный гравелит, который выполняет линзу в рыхлом крупнозернистом песчанике желтого цвета, расположенный в базальной части обнажения (рис. 1). Гравелит в крупнозернистом песчаном заполнителе имеет рыжевато-коричневый цвет, что связано с процессами интенсивного выветривания пород. Галька в гравелите, преимущественно кварцевая, разной степени окатанности – от угловато- до хорошоокатанной.

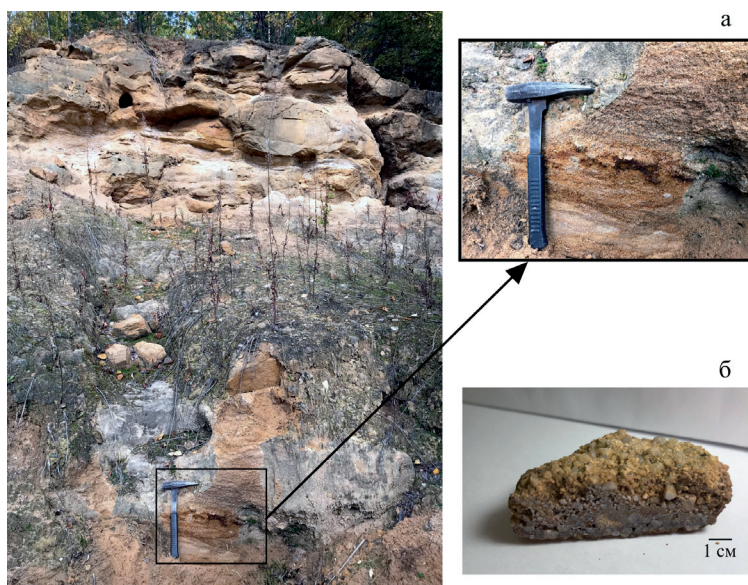


Рис. 1. Общий вид обнажения асывовожской свиты: а – место отбора образца, б – образец гравелита, в котором установлен бадделеит.

Fig. 1. General view of the outcrop of the Asyvvozh Formation: a – sampling site, b – gravelite sample, in which baddeleyite was found.

Морфологические особенности и химический состав бадделеита

Бадделеит представлен удлинёнными окатанными зёрнами, размером около 15 мкм. Видно, что вокруг бадделеита обрастает новообразованный циркон (рис. 2). Количественный анализ минерала показал, что помимо ZrO_2 в нем содержатся изоморфные примеси, мас. %: HfO_2 (край 2.09, центр 2.32), TiO_2 (край 0.70, центр 1.00) и FeO (край 0.62, центр 0.78). Формула бадделеита – $(Zr_{0.95}Fe_{0.02}Hf_{0.01}Ti_{0.01})_{\Sigma 0.99}O_2$. Величина Zr/Hf составляет 38–46. В краевой части присутствует SiO_2 до 8.46 мас. %, неустановленный в центре зёрна, что связано с высоким содержанием кварца в окружающем гравелите.

В кимберлитах Новоласпинской трубки (юго-восток Украинского щита) исследователями обнаружены удлинённо-призматические кристаллы бадделеита гомогенного строения (Цымбал и др., 2011). Известно, что в бадделеите из кимберлитов в краевых частях кристаллов отмечается присутствие SiO_2 0.1–0.2 мас. %.

В бадделеитах из кимберлитов содержание TiO_2 от 1.6 до 6.2 мас. %. Содержание железа от 0.2 до 0.8 %, причем центральные части кристалла содержат железа больше, чем краевые. Также, в кристаллах бадделеита исследователями отмечается сравнительно высокое содержания HfO_2

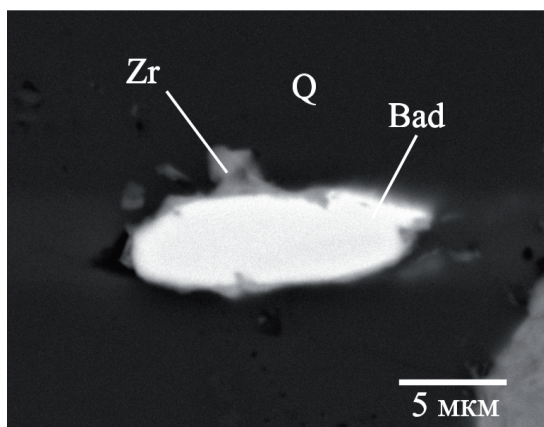


Рис. 2. Бадделеит в алмазосодержащих среднедевонских отложениях Южного Тимана. Bad – бадделеит; Zr – циркон; Q – кварц. Изображения в обратно-отраженных электронах.

Fig. 2. Baddeleyite in Middle Devonian diamond-bearing deposits of the Southern Timan. Bad – baddeleyite; Zr – zircon; Q – quartz. Backscattered electron images.

1.8–2.5 %. Для бадделеита из кимберлитов величина Zr/Hf составляет 33–65 (Цымбал и др., 2011). Бадделеит из гравелита асывовожской свиты характеризуется всеми вышеперечисленными особенностями химического состава минерала.

Проведенные исследования показали, что бадделеит в отложениях асывовожской свиты является аллотигенным минералом, но небольшие размеры минералы не позволяют дать однозначный ответ на вопрос о составе материнских пород, хотя не исключено, что ими могли быть кимберлиты. В гипергенных условиях происходит реакционное замещение бадделеита новообразованным цирконом, при воздействии на породу флюидов, привносящих кремнезём (Harlov, 2015). Процесс обогащения кремнезёмом осадков проявляется и в регенерации зерен кварца, в том числе и при образовании кварцевого цемента в изучаемых отложениях (Илупин и др., 1990). Присутствие глинистого материала также способствует проявлению процесса окремнения пород.

На Среднем Тимане в породах рудопроявления Ичетью в составе отложений среднедевонской пижемской свиты, близких по возрасту, геологическому положению и минералогическому составу к отложениям асывовожской свиты, также был установлен бадделеит. Здесь он встречен в виде микроагрегатов, приуроченных к кайме, пустотам и трещинам в цирконе. Химический состав бадделеита: ZrO_2 96.12–99.8; TiO_2 0.16–2.17; HfO_2 – 0.04–1.67. Образование бадделеита в этих отложениях авторы связывают с преобразованием циркона под воздействием высокотемпературных (500–600°) щелочных флюидов (Скублов и др., 2018).

Заключение

В среднедевонских алмазосодержащих отложениях асывовожской свиты на юге Тимана был найден аллотигенный бадделеит. Минерал содержит следующие элементы-примеси: HfO_2 , TiO_2 и FeO. Бадделеит, совместно с другими устойчивыми минералами, переносился в результате транспортировки, и накапливался в терригенных отложениях. В гипергенных условиях происходит реакционное замещение бадделеита новообразованным цирконом, при воздействии на породу флюидов, привносящих кремнезём. Материнскими породами, в которых образовался бадделеит, возможно, являлись кимберлиты, учитывая сходство минерала из отложений асывовожской свиты и кимберлитов. Бадделеит пока найден только в очень мелких единичных зернах. В дальнейшем планируется пополнить коллекцию бадделеита, провести дополнительные исследования с целью установления его изотопного возраста и более точной оценки состава пород, которые послужили источником сноса этого минерала.

Работа выполнена в рамках темы государственного задания ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (регистр. номер 1021062211107-6-1.5.6; FUUU-2022-0085).

Литература

1. Гракова О.В. Алмазопроявления Среднего и Южного Тимана. Сыктывкар. 2021. 144 с.
2. Гракова О.В. Видовой состав, химические и типоморфные особенности аксессуарных минералов девонских алмазосодержащих отложений Южного и Среднего Тимана // Вестник института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2014. № 3 С. 3–8.

3. Здорик Т.Б. Бадделеит // Типоморфизм минералов: справочник. 1989. М. Изд-во: Недра. 62–68.
4. Илупин И.П., Ваганов В.И., Прокопчук Б.И. Кимберлиты. М. Изд-во: Недра 1990. 248 с.
5. Никулова Н.Ю., Филиппов В.Н., Хубанов В.Б. Источники сноса и U–Pb возраст детритовых цирконов из песчаников асывожской свиты среднего девона, возвышенность Джежимпарма, Южный Тиман // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2020. Т. 28. № 6. С. 92–104.
6. Селли Р.Ч. Древние обстановки осадконакопления. М. Изд-во: Недра. 1989. 294 с.
7. Скублов С.Г., Красоткина А.О., Макеев А.Б., Галанкина О.Л., Мельник А.Е. Уникальная находка преобразования циркона в бадделеит (рудопроявления Ичетью, Средний Тиман) // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2018. № 1. С. 27–35.
8. Терешко В.В., Казанцева Г.Я., Кириллин С.И. Перспективы алмазности девонских отложений Южного Тимана // Геология девона северо-востока европейской части СССР: Материалы совещ. Сыктывкар. 1991. С. 76–77.
9. Цымбал С.Н., Кременецкий А.А., Соболев В.Б., Цымбал Ю.С. Минералы циркония из кимберлитов Новоласпинских трубки и дайки (юго-восток Украинского щита) // Мінерал. Журн. 2011. Т. 33. № 1. С. 41–62.
10. Harlov D. Fluids and geochronometers: charting and dating mass transfer during metasomatism and metamorphism // J. Indian Inst. Sci. 2015. V. 95. P. 109–124.