

Бадделеит и циркон из алмазосодержащих отложений (D_{2-3} as) на Южном Тимане

О.В. Гракова

Институт геологии имени академика Н.П. Юшкина
ФИЦ Коми НЦ УрО РАН,
г. Сыктывкар
ygrakov@yandex.ru

Аннотация

В среднедевонских терригенных отложениях на Южном Тимане установлены циркониевые минералы: бадделеит и циркон. Показано, что в отложениях асывовожской свиты минералы поступали из разных источников. Бадделеит, помимо основного компонента ZrO_2 , содержит следующие элементы-примеси: HfO_2 , TiO_2 и FeO . Материнскими породами, в которых образовался бадделеит, возможно, являлись кимберлиты: показано их сходство с бадделеитами из кимберлитовых тел (по морфологии и форме кристаллов, химическому составу, соотношению элементов край/центр и Zr/Hf отношению). В результате транспортировки бадделеит, совместно с другими устойчивыми минералами, переносился и накапливался в отложениях асывовожской свиты. В исследуемых гравелитах асывовожской свиты было установлено два типа циркона: новообразованный циркон, обрастающий вокруг бадделеита и слабоокатанные трещиноватые короткопризматические зерна. Первый тип циркона может быть образован при воздействии на породу флюидов, привносящих кремнезём, в результате чего происходило реакционное замещение бадделеита цирконом. Циркон второго типа характеризуется присутствием многочисленных элементов-примесей: HfO_2 , FeO , Al_2O_3 , P_2O_5 , Y_2O_3 , CaO , Sc_2O_3 , Nd_2O_3 . Он, вероятно, был образован в результате переотложения из подстилающих рифейских пород.

Ключевые слова:

среднедевонские отложения, Тиман, бадделеит, циркон

Введение

Интерес геологов к среднедевонским терригенным отложениям асывовожской свиты, обнажающимся в карьере Асывовож на Южном Тимане, связан, прежде всего, с тем, что здесь в 1988 г. в ходе геолого-поисковых работ было обнаружено пять мелких (0,5 мм) обломков кристаллов алмазов. Находки алмазов приурочены к базальным и средним частям разреза свиты [1]. Результаты проведенных нами ранее литолого-минералогических исследований этих отложений приведены в ряде статей и обобщены в недавно вышедшей монографии [2]. В ходе экспедиционных исследований на Южном Тимане в 2021 г. получены новые данные по минералогии циркониевых минералов из

Baddeleyite and zircon from diamond-bearing deposits (D_{2-3} as) in the Southern Timan

O.V. Grakova

Institute of Geology named after academician N.P. Yuskin, Komi Science Centre, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktyvkar
ygrakov@yandex.ru

Abstract

In the Middle Devonian deposits in the south of the Timan, zirconium minerals baddeleyite and zircon have been determined. It is shown that the deposits of the Asyvvozh Formation received minerals from different sources. Baddeleyite contains the following trace elements: HfO_2 , TiO_2 and FeO . The source rocks in which baddeleyite was formed may have been kimberlites: their similarity with baddeleyites from kimberlite bodies is noted in morphology and shape of crystals, chemical composition, edge/center element ratio and Zr/Hf ratio. As a result of transportation, baddeleyite, together with other stable minerals, was transported and accumulated in the deposits of the Asyvvozh Formation. In the studied gravelstones of the Asyvvozh Formation, two types of zircon were found: newly formed zircon overgrowing around baddeleyite and weakly rounded fractured short prismatic grains. The first type of zircon could have been formed when the rock was exposed to silica-bearing fluids, which resulted in the reaction replacement of baddeleyite by zircon. Zircon of the second type is characterized by the presence of numerous impurity elements: HfO_2 , FeO , Al_2O_3 , P_2O_5 , Y_2O_3 , CaO , Sc_2O_3 , Nd_2O_3 . It probably formed as a result of redeposition from the underlying Riphean rocks.

Keywords:

Middle Devonian deposits, Timan, baddeleyite, zircon

пород асывовожской свиты, в том числе, впервые установлен моноклинный диоксид циркония – бадделеит.

Бадделеит – типичный минерал апатит-форстеритовых пород и магнетитовых руд, карбонатитов и доломит-флогопитовых пород. В качестве акцессорного минерала он встречается в кимберлитах, в брекчиях существенно кварцевого состава; в габброидах расслоенных базит-гипербазитовых массивов; в меланитовых щелочных сиенитах и альбититах; в щелочных и нефелиновых сиенитах, пегматитах нефелиновых сиенитов; в фенитах экзоконтактного ореола; на контактах щелочных интрузивов с карбонатными породами. Бадделеит устойчив в гипергенных условиях

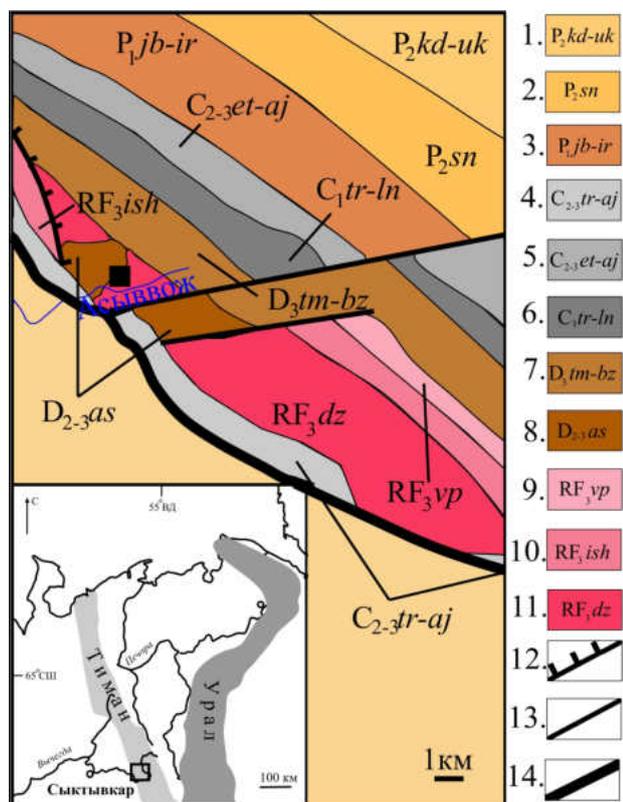
и накапливается в россыпях совместно с рутилом, касситеритом, цирконом, ильменитом, корундом, шпинелью, турмалином [3].

Циркон, как известно, является одним из наиболее информативных минералов и при изучении осадочных толщ используется для палеореконокструкций источников сноса, дальности переноса осадочного материала, установления возраста пород и других целей.

Полученные новые данные по морфологии и составу циркониевых минералов дают дополнительную информацию об условиях формирования среднедевонских терригенных отложений Южного Тимана и возможном составе источников сноса.

Методы исследования

Объектом нашего исследования являются бадделит и циркон. Образец гравелита асывовожской свиты был помещен в эпоксидную шашку и изучен на электронном микроскопе. Микрозондовые 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 применялись 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 Джемимпарма и представлены асывовожской свитой (D_{2-3as}). Рассматриваемые породы залегают на песчаниках джемимской свиты верхнего рифея и перекрываются четвертичными отложениями (рис. 1). Асывовожская свита сложена разнозернистыми песчаниками с прослоями и линзами кварцевых гравелитов и глин [4]. Песчаники кварцевые светло-серого, дымчатого, розовато-кремового цветов. Встречаются также прослои коричневатого-рыжего и темно-серого песчаников, что связано с ожелезнением и омарганцеванием пород. Присутствуют каолиновые глины светло-серого и черного цветов. Черная окраска отложений связана с наличием углефицированных остатков растений.

Нами было изучено обнажение, расположенное в 100 м на северо-запад от щебеночного карьера Асывовож (рис. 2 а). Общая мощность отложений асывовожской свиты, вскрытых в этом обнажении, составляет 5 м. Породы разбиты разнонаправленными трещинами. Слоистость в породах падает на восток под углом в 50° . В девонских песчаниках встречаются тонкие прослои и «жилы» песчаного материала черного цвета, смятые в мелкие асимметричные складки (рис. 2 б, в). Вероятно, черные песчаники являются вторичными образованиями. Их происхождение, скорее всего, связано с просачиванием по ослабленным зонам растворов, обогащенных марганцем. Повышенное содержание марганца подтверждено данными приближен-

Рисунок 1. Схематическая геологическая карта возвышенности Джемимпарма (Южный Тиман) [5]: 1. Кирдовская, усть-куломская свиты нерасчлененные. Глины, песчаники, известняки. 2. Синдорская свита. Глины, алевролиты, песчаники, известняки. 3. Иренская, филипповская, анельская, тыбюнская, северомылвинская, южнобуркемская свиты объединенные. Известняки, доломиты, кремни, глины. 4. Терригенная толща, лунвильская, елмачская и кодачская свиты, буркемская, одесская и аювинская толщи объединенные. Доломиты, известняки, глины. 5. Елмачская, кодачская свиты, буркемская, одесская и аювинская толщи объединенные. Известняки, доломиты, глины, кремни. 6. Терригенная толща и лунвильская свита объединенные. В нижней части – песчаники, алевролиты, глины, глинистые горючие сланцы, бокситы, в верхней – доломиты, доломитизированные известняки с прожилками гипса и ангидрита. 7. Тиманская, саргаевская, семилукская, шаралевская, сирачойская свиты и биязьяельская толща объединенные. Известняки, доломиты, песчаники, глины. 8. Асывовожская свита. Песчаники кварцевые с прослоями и линзами гравелитов, алевролитов и глин. 9. Вапольская свита. Доломиты с прослоями аргиллитов и алевролитов. 10. Ышекемская свита. Доломиты с прослоями алевролитов и аргеллитов. 11. Джемимская свита. Песчаники аркозовые, полевощпат-кварцевые и кварцитовидные, аргиллиты и глинистые сланцы. 12. Достоверные разломы. 13. Достоверные надвиги. 14. Главный Западно-Тиманский надвиг. Черным квадратом отмечен район исследований.

Figure 1. Schematic geological map of the Dzhzhimparma Upland (South Timan) [5]. 1. The Kirdovsk and Ust-Kulom formations are undivided. Clays, sandstones, limestones. 2. Sindor formation. Clays, siltstones, sandstones, limestones. 3. Irensk, Filippov, Anel, Tybus, Severomyln, Yuzhnoburkem formations combined. Limestones, dolomites, flints, clays. 4. Terrigenous strata, Lunvil, Elmachand Kodach formations, Burkem, Odessa and Ayuvin strata combined. Dolomites, limestones, clays. 5. Elmach, Kodach formations, Burkem, Odessa and Ayuvin strata combined. Limestones, dolomites, clays, flints. 6. The terrigenous strata and the Lunville Formation are combined. In

the lower part there are sandstones, siltstones, clays, argillaceous oil shales, bauxites, in the upper part - dolomites, dolomitized limestones with gypsum and anhydrite veins. 7. Timan, Sargaev, Semiluks, Sharal, Sirachoi formations and Biyazyael strata combined. Limestones, dolomites, sandstones, clays. 8. Asyvozh suite. Quartz sandstones with interlayers and lenses of gravelstones, siltstones and clays. 9. Vapol suite. Dolomites with interlayers of mudstones and siltstones. 10. Yshkemess Formation. Dolomites with interlayers of siltstones and argillites. 11. Dzhzhim Formation. Arkose sandstones, feldspar-quartz and quartzite, mudstones and shales. 12. Credible faults. 13. Reliable thrust faults. 14. Main West Timan thrust. The study area is marked with a black square.

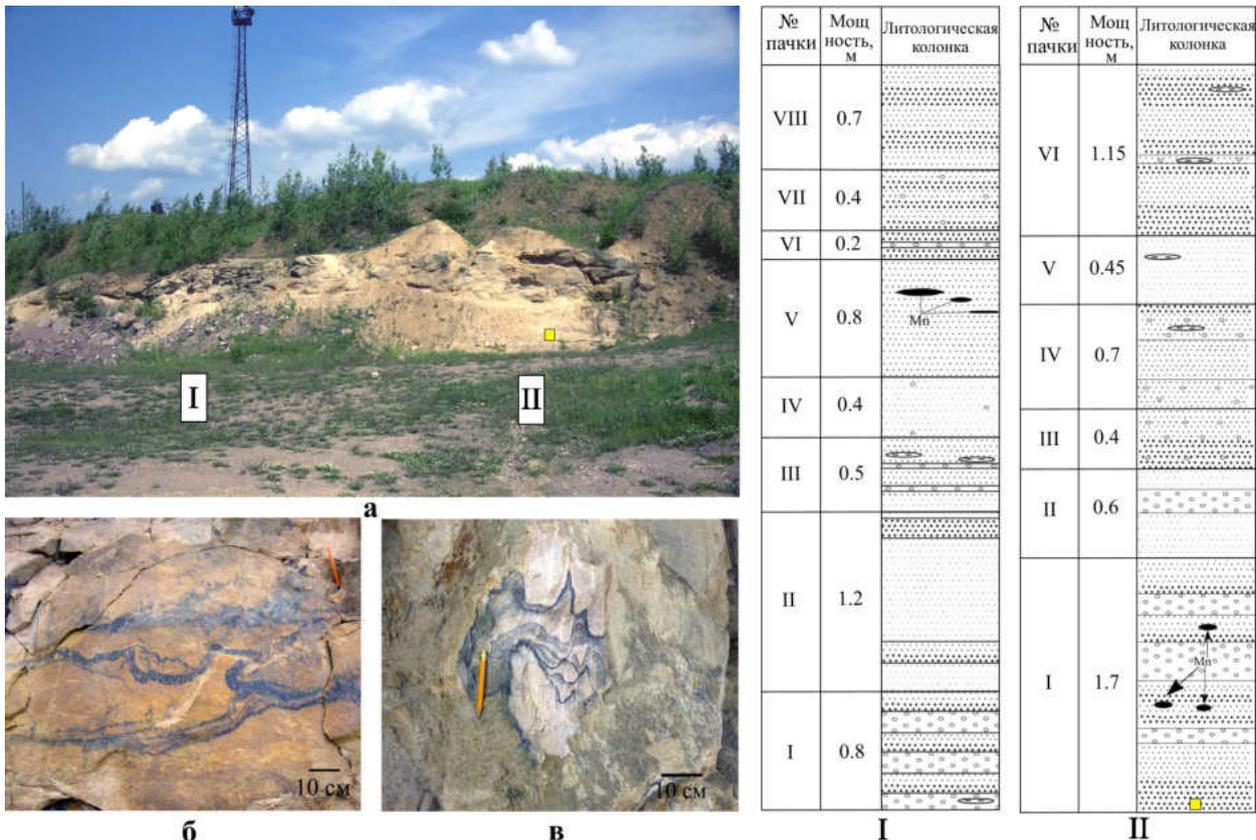


Рисунок 2. Коренные выходы асывовожской свиты: а – общий вид обнажения; б, в – детали обнажения: тонкие прослои в виде складок (б) и «жилы» (в) песчанистого материала черного цвета в песчаниках асывовожской свиты; I, II – литологическая колонка асывовожской свиты, описание приведено в тексте. Желтым квадратом выделено место отбора пробы, в которой найден бадделейт.

Figure 2. Bed rock of the Asyvozh Formation: a – general view of the outcrop; б, в – outcrop details: thin interbeds in the form of shift fault (б) and «lode» (в) of black psammitic material in the sandstones of the Asyvozh Formation; I, II – Formation log of the Asyvozh Formation, description is given in the text. The yellow square marks the sampling material where baddeleyite was found.

но-количественного анализа [2]. Песчаники асывовожской свиты перекрываются четвертичными образованиями. Литологическая характеристика и взаимоотношения пород даются ниже на примере двух разрезов, отстоящих друг от друга на расстоянии 10 м.

В разрезе I снизу вверх выделяются восемь пачек (рис. 2 (I)). Пачка I: переслаивание песчаников розовато-кремового цвета крупно- и среднезернистого с гравелитом. Границы между прослоями песчаников и гравелитов четкие, волнистые. В нижней части пачки наблюдаются линзы глин размером от 5–6 до 18–20 см в длину и от 2–3 до 6–7 см в ширину. Видимая мощность – 0.8 м. Верхний контакт четкий, волнистый. Пачка II: переслаивание песчаников светло-серого цвета мелко-, средне- и крупнозернистых. Отмечается горизонтальная слоистость, выраженная коричневато-серым цветом, который имеют породы на границах между слоями. Общая мощность пачки – 1.2 м. Контакт нечеткий, волнистый. Пачка III: переслаивание песчаников светло-серого цвета мелко- и среднезернистых и гравелитов. Мощность гравелитовых слоев – 0.5–1 см. В песчанике отмечается горизонтальная слоистость, выраженная цветом от светло-серого до бурого. Встречаются небольшие (1×2 см) линзы глин. Общая мощность пачки – 0.5 м. Верхний контакт четкий, волнистый. Пачка IV: песчаник светло-серого цвета мелкозернистый с галькой. Наблюдается косая слоистость, выраженная изменением цвета песчаника от

светло-серого до бурого. Мощность пачки – от 0.1 до 0.4 м, изменения связаны с выклиниванием слоя в левой части обнажения. Контакт с вышележащим слоем четкий, волнистый. Пачка V: переслаивание песчаника светло-серого среднезернистого с тонкими слоями песчаника коричневого цвета среднезернистого. Встречаются линзы и конкреции размером от 5 до 20 см, сложенные песчаником черного цвета. Мощность пачки меняется от 0.6 до 0.8 м, что связано с выклиниванием нижележащего слоя в левой части обнажения. Верхний контакт нечеткий, волнистый. Пачка VI: переслаивание песчаников светло-серого цвета крупнозернистых с гравелитом. В песчанике отмечается горизонтальная слоистость, выраженная цветом от светло-серого до бурого. Мощность пачки – 0.2 м. Верхний контакт нечеткий, волнистый. Пачка VII: переслаивание песчаников серо-розового цвета средне- и крупнозернистых. Отмечается горизонтальная слоистость, подчеркнутая коричневой окраской тонких слоев песчаников. Мощность – 0.4 м. Верхний контакт нечеткий, волнистый. Пачка VIII: песчаник серо-розового цвета средне-, крупнозернистый, отдельные слои окрашены в коричнево-серый цвет. Наблюдается косая слоистость. Мощность слоя – 0.7 м.

В разрезе II снизу вверх выделяются шесть пачек (см. рис. 2 (II)). Пачка I: переслаивание песчаника светло-серого цвета крупно- и среднезернистого с гравелитом. В нижнем слое крупнозернистого песчаника наблюдаются конкре-

ции, сложенные гравелитом бурого цвета (здесь была отобрана проба, в которой найден бадделеит). Границы между слоями песчаников и гравелитов четкие, волнистые. Видимая мощность пачки – 1.6–1.7 м. Верхний контакт нечеткий, волнистый. Пачка II: переслаивание песчаника розовато-серого цвета мелкозернистого с гравелитом. В песчанике отмечается горизонтальная слоистость, выраженная изменением цвета песчаника от светло-серого до оранжево-коричневого. В гравелите присутствуют тонкие слои песчаника светло-коричневого цвета. Общая мощность – 0.6 м. Верхний контакт четкий, слабоволнистый. Пачка III: песчаник светло-серый крупно-, среднезернистый с включениями гравия и гальки. Наблюдается горизонтальная слоистость, выраженная в изменении цвета песчаника от светло-серого до темно-коричневого. Мощность – 0.4 м. Верхний контакт нечеткий, слабоволнистый. Пачка IV: переслаивание песчаника светло-коричневого цвета среднезернистого с песчаником светло-серого цвета крупнозернистым с гравием и линзами глин размером 2–3 см. В среднезернистом песчанике отмечается горизонтальная слоистость, которая выражается изменением цвета песчаника, от светло-коричневого до бурого. Мощность пачки – 0.7 м. Верхний контакт нечеткий, слабоволнистый. Пачка V: переслаивание песчаников светло-серого и коричневого цветов мелкозернистых. Наблюдается горизонтальная слоистость, которая выражена цветом. Общая мощность пачки – 0.45 м. Верхний контакт четкий, слабоволнистый. Пачка VI: переслаивание песчаника светло-коричневого и розовато-серого цветов крупно-, среднезернистого с гравием с гравелитом. В песчанике отмечается горизонтальная слоистость, выраженная цветом, присутствуют линзы глин размером 2×5 см. Мощность пачки – 1.15 м.

Сравнение литологических колонок (см. рис. 2) показало, что разрезы двух разных частей одного и того же обнажения из отложений асывовожской свиты плохо сопоставимы друг с другом, различаются крупностью материала, степенью сортированности, различным содержанием углистых компонентов. Это связано с выклиниванием отдельных слоев, проявлением косой слоистости, микротектоническим смещением отдельных слоев. Вероятно, отложения накапливались в аллювиальной обстановке, песчаники образовывались за счет материала под действием сильных течений, глинистый материал обязан своим происхождением мертвым руслам [6]. Можно предположить, что отложения асывовожской свиты – древний аллювий, накапливающийся за счет ветвящихся рек, хотя существует точка зрения, что они формировались в мелководной морской обстановке в условиях теплого климата [7].

Ранее нами в результате минералогического изучения тяжелой фракции шлихов в составе аксессуарив асывовожской свиты установлены 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, пирит, гидрогетит, глауконит, лазулит, хромшпинелид, касситерит, сфалерит, магнетит, гидроокислы Fe, барит, кианит, апатит, уваровит, титанит, самородная медь, золото, алмазы [8, 9]. Основная

масса тяжелой фракции представлена цирконом (40 %), турмалином (30 %) и минералами оксида титана (25 %).

Морфологические особенности и химический состав бадделеита и циркона

Исходя из того, что основная масса алмазов в россыпях сосредоточена в грубообломочных породах, нами были изучены циркониевые минералы из сцементированного кварцевого гравелита, выполняющего линзу в рыхлом крупнозернистом песчанике желтого цвета, залегающем в нижней части разреза II (рис. 3).

Бадделеит представлен удлинёнными зёрнами, размером около 15 мкм (рис. 4 а), установлен в кварц-глинистом цементе гравелита. Количественный анализ минерала показал, что помимо ZrO_2 в нем содержатся изоморфные примеси HfO_2 (до 2.32 мас. %), TiO_2 (до 1 мас. %) и FeO (до 0.78 мас. %). В краевых частях кристалла присутствует SiO_2 (таблица, анализ 2), повышенное содержание которого может быть связано с наследованием из окружающего его кварца. Величина Zr/Hf в бадделеите составляет 39–46. Бадделеит обрастает цирконом, что хорошо видно на снимке в режиме BSE (рис. 4 а). Диагностика минерала, как циркона, подтверждается результатами микроанализа (таблица, анализ 3), хотя из-за малого размера этого минерала анализ не является вполне корректным: на него, несомненно, повлияли окружающие кварц и бадделеит.

Цирконы в гравелитах асывовожской свиты представлены зёрнами призматического габитуса, со сглаженными ребрами, размером до 100 мкм (рис. 4 б, в) и их обломками. Минерал имеет зональное строение. В светлых зонах цирконов помимо основных компонентов постоянно присутствует HfO_2 , также содержится FeO в количестве 1.34 мас. % (таблица, анализы 4, 6). Темно-серые участки циркона (таблица, анализ 5) содержат следующие элементы-примеси: HfO_2 , FeO , Al_2O_3 , P_2O_5 , Y_2O_3 , CaO , Sc_2O_3 , Nd_2O_3 . Zr/Hf отношение в цирконах этого типа составляет 49–62.

Обсуждение результатов

Бадделеит из гравелита асывовожской свиты представлен удлинёнными зёрнами. С целью оценки возможных источников бадделеита нами была проведена сравнительная характеристика морфологических особенностей и химического состава этого минерала из гравелита асывовожской свиты с бадделеитами из разных типов пород. В кимберлитах Новоласпинской трубки (юго-восток Украинского щита) описаны удлинённо-призматические кристаллы бадделеита гомогенного строения [10]. Содержание ZrO_2 в минерале составляет 91.81 – 96.05 мас. %, TiO_2 – 1.16 – 4.75 мас. %, FeO – от 0.14 до 0.50 мас. %, причем центральные части кристалла содержат больше железа, чем краевые. Также в кристаллах бадделеита из кимберлитов установлено сравнительно высокое содержание HfO_2 – 1.82 – 2.56 мас. %, величина Zr/Hf составляет 33–42.

Бадделеит также встречается в кимберлитовых телах Сибири и Африки [11]. В кимберлитовых телах Сибири бадделеит найден в виде мелких зёрен – 0.15–0.5 мм. В трубках Монастери и Мотае (ЮАР) этот минерал образуется на гра-

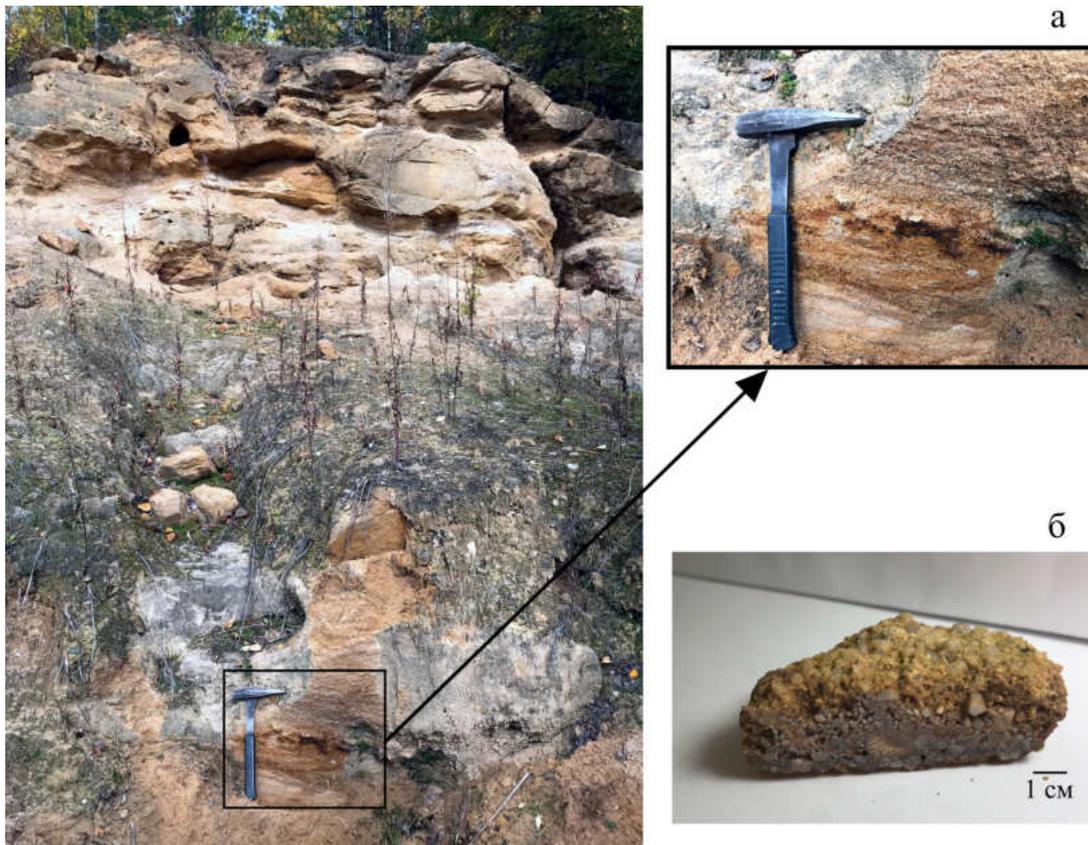


Рисунок 3. Общий вид обнажения асывовожской свиты, расположенного в 100 м на северо-запад от карьера Асывовож (переслаивающиеся песчаники, гравелиты и глины): а – место отбора образца, б – образец гравелита, в котором установлен бадделейт.

Figure 3. General view of the outcrop of the Asyvvozh Formation, located 100 m north-west of the Asyvvozh open-pit mine (interbedded sandstones, gravelites and clays): a – sampling site, b – gravelite sample, in which baddeleyite was found.

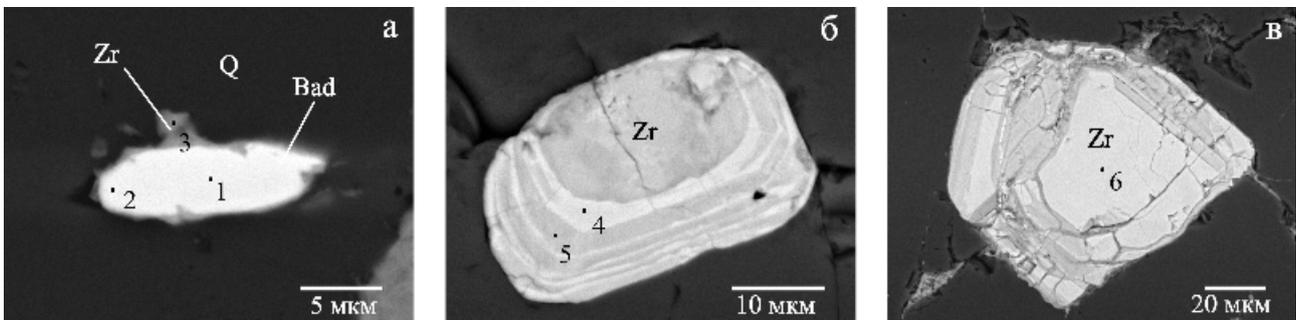


Рисунок 4. Циркониевые минералы в алмазосодержащих среднедевонских отложениях Южного Тимана: а – удлиненное окатанное зерно бадделейта; б, в – зональные призматические зерна циркона. Bad – бадделейт; Zr – циркон; Q – кварц. Изображения в обратно-отраженных электронах. Цифрами показаны места анализов в таблице.

Figure 4. Zirconium minerals in diamond-bearing Middle Devonian deposits of South Timan: a - elongated rounded baddeleyite grain; b, c - zoned prismatic zircon grains. Bad - baddeleyite; Zr - zircon; Q - quartz. Backscattered electron images. The numbers show the places of analyzes in the table.

ницах зерен циркона и ильменита и имеет следующий состав, %: ZrO_2 – 90.63–93.22; TiO_2 – 3.68–6.10; Al_2O_3 – 0.11–0.51; Cr_2O_3 – 0.11–0.18; FeO – 0.63–0.68; MnO – 0.05–0.18; MgO – 0.09–0.19; CaO – 0.09–0.65.

Длиннопризматические кристаллы бадделейта и их сростки установлены в интрузивных породах основного состава Башкирского мегантиклинория (Южный Урал) [12]. В пикритах он включен в кристаллы оливина, пироксена и биотита, а в габброидах – в пироксен и амфибол. Химический состав минерала, мас. %: ZrO_2 – 94.16–96.59; HfO_2 – 1.47 – 2.65; TiO_2 – 0.31 – 1.26; FeO – 0.91 – 1.66; SiO_2 – 0.53. Отмечается уменьшение содержания HfO_2 (2.12 и 1.58 мас. %), TiO_2

(0.5 и 0.31 мас. %) и FeO (1.33 и 1.21 мас. %) от центра зерен к краям [12].

В отложениях среднедевонской пижемской свиты рудопроявления Ичетью на Среднем Тимане, имеющей схожие петрографический и минеральный составы с породами асывовожской свиты, был также установлен бадделейт. Образование бадделейта авторы связывают с преобразованием циркона под воздействием высокотемпературных (500–600°) щелочных флюидов. Химический состав бадделейта пижемской свиты, мас. %: ZrO_2 – 96.12–99.8; TiO_2 – 0.16–2.17; HfO_2 – 0.04–1.67 [13]. Здесь он встречается в виде микроагрегатов, приуроченных к кайме, пустотам и тре-

Химический состав циркониевых минералов из пород асывовожской свиты, мас. %

Chemical composition of zirconium minerals from the rocks of the Asyovozh Formation, wt %

Элемент	1	2	3	4	5*	6
	Бадделейт		Циркон			
ZrO ₂	95.33	89.43	31.6	63.55	53.78	64.92
HfO ₂	2.09	2.32	-	1.28	1.04	1.04
SiO ₂	-	8.48	50.6	30.81	22.21	31.98
TiO ₂	1	0.7	-	-	-	-
FeO	0.78	0.62	0.8	-	1.34	0.35
Сумма	99.2	101.56	82.47	95.64	85.78	98.29
Zr/Hf	45.61	38.55	-	49.65	51.71	62.42
Формульные коэффициенты						
Zr	0.95	0.80	0.47	1.00	0.92	0.98
Hf	0.01	0.01	-	0.02	0.02	0.02
Si	-	0.15	1.5	0.98	0.77	0.98
Ti	0.01	0.01	-	-	-	-
Fe	0.02	0.02	0.04	-	0.04	0.03

Примечание. Номера анализов соответствуют точкам микроанализа на рис. 4. Коэффициенты в формуле рассчитаны по кислороду. * Приведен не весь анализ, в сумму анализа 5 включены Al₂O₃ 1,05; P₂O₅ 3,1; Y₂O₃ 1,87; CaO 0,76; Sc₂O₃ 0,13; Nd₂O₃ 0,5.

Note. The analysis numbers correspond to the microanalysis points in Fig. 4. The coefficients in the formula are calculated for oxygen. * The sum of the analysis 5 includes Al₂O₃ 1,05; P₂O₅ 3,1; Y₂O₃ 1,87; CaO 0,76; Sc₂O₃ 0,13; Nd₂O₃ 0,5.

щинам в цирконе, в отличие от бадделейта из гравелита асывовожской свиты, где он выделяется в виде отдельных кристаллов, на поверхности которых образуется циркон.

Сравнение бадделейтов из изученных нами пород и различных пород других районов показывает некоторое сходство «асывовожского» бадделейта с бадделейтами из кимберлитовых тел по морфологии и форме кристаллов, химическому составу, соотношению элементов край/центр и Zr/Hf отношению. Однако для решения вопроса о возможном источнике сноса этого минерала необходимо дополнительное исследование его морфологии и химических особенностей на более представительном материале.

Проведенные исследования дают основание считать, что, в отличие от бадделейта из пажемской свиты Среднего Тимана, бадделейт в отложениях асывовожской свиты является аллотигенным минералом. В гипергенных условиях происходит реакционное замещение бадделейта новообразованным цирконом, при воздействии на породу флюидов, привносящих кремнезем [14]. Процесс обогащения кремнеземом осадков проявляется и в регенерации зерен кварца и образовании кварцевого цемента в отложениях асывовожской свиты [11]. Присутствие глинистого материала также способствует проявлению процесса окремнения пород.

Циркон, установленный в гравелитах асывовожской свиты имеет зональное строение, сильно трещиноват, в его составе установлены элементы-примеси: HfO₂, FeO, Al₂O₃, P₂O₅, Y₂O₃, CaO, Sc₂O₃, Nd₂O₃. Значение Zr/Hf отношения – 49–62, что свойственно цирконам из магматических пород кислого состава [15]. Циркон из отложений асывовожской свиты, вероятнее всего, образовался в результате размыва сильно выветрелого субстрата (разрушенные трещиноватые зерна циркона), их источниками могли быть отложения нижележащей верхнерифейской джежимской свиты.

Заключение

В результате изучения бадделейта и циркона показано, что в отложения асывовожской свиты циркониевые минералы могли поступать из разных источников.

Бадделейт пока найден только в очень мелких единичных зернах. Минерал имеет аллотигенное происхождение. В результате транспортировки бадделейт, совместно с другими устойчивыми минералами, переносился и накапливался в отложениях асывовожской свиты. Затем на поверхности бадделейта возникает новообразованный циркон в результате воздействия флюидов, привносящих кремнезем. Первые анализы этого минерала и сравнение их состава с составом бадделейта из различных пород других районов не исключает их кимберлитовую природу, хотя имеющиеся данные недостаточны для корректного заключения. В дальнейшем планируется пополнить коллекцию этого минерала и провести дополнительные исследования с целью установления его изотопного возраста и оценки состава пород, которые послужили источником сноса бадделейта.

Цирконы, имеющие зональное строение и содержащие большое количество элементов-примесей, вероятно, попали в состав среднедевонских осадков в результате перетотложения из подстилающих рифейских отложений. Ранее детритные цирконы из изучаемых отложений были продактированы U–Pb методом. Было установлено, что песчаники асывовожской свиты не содержат зерен циркона моложе среднего рифея [7].

Литература

1. Терешко, В.В. Перспективы алмазоносности девонских отложений Южного Тимана / В.В. Терешко, Г.Я. Казанцева, С.И. Кириллин // Геология девона северо-востока европейской части СССР: материалы совещ. – Сыктывкар, 1991. – С. 76–77.
2. Гракова, О.В. Алмазопроявления Среднего и Южного Тимана / О.В. Гракова. – Сыктывкар, 2021. – 144 с.
3. Здорик, Т.Б. Бадделейт / Т.Б. Здорик // Типоморфизм минералов: справочник. – Москва: Недра, 1989. – С. 62–68.
4. Гракова, О.В. Петрографический состав и литохимические особенности алмазосодержащих отложений асывовожской (D2-Zas) свиты Южного Тимана / О.В. Гракова, Н.С. Уляшева // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. – 2015. – № 12 (252). – С. 16–23.
5. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Уральская – Лист Р-40 – Североуральск. Объяснительная записка / под ред. М.А. Шишкина. – Санкт-Петербург: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2005. – 332 с.
6. Селли, Р.Ч. Древние обстановки осадконакопления / Р.Ч. Селли. – Москва: Недра, 1989. – 294 с.
7. Никулова, Н.Ю. Источники сноса и U–Pb возраст детритовых цирконов из песчаников асывовожской свиты среднего девона, возвышенность Джежимпарма, Южный Тиман / Н.Ю. Никулова, В.Н. Филиппов, В.Б. Хубанов

// Стратиграфия. Геологическая корреляция. – 2020. – Т. 28, № 6. – С. 92–104.

8. Гракова, О.В. Акцессорный ильменорутит алмазодержащих среднедевонских пород Южного Тимана / О.В. Гракова // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. – 2011. – № 10. – С. 11–13.
9. Гракова, О.В. Видовой состав, химические и типоморфные особенности акцессорных минералов девонских алмазодержащих отложений Южного и Среднего Тимана / О.В. Гракова // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. – 2014. – № 3. – С. 3–8.
10. Цымбал, С.Н. Минералы циркония из кимберлитов Новоласпинских трубки и дайки (юго-восток Украинского щита) / С.Н. Цымбал, А.А. Кременецкий, В.Б. Соболев, Ю.С. Цымбал // Минерал. Журн. – 2011. – № 1 (33). – С. 41–62.
11. Илупин, И.П. Кимберлиты / И.П. Илупин, В.И. Ваганов, Б.И. Прокопчук. – Москва: Недра, 1990. – 248 с.
12. Ковалев, С.Г. Первые данные о бадделеит-цирконовой минерализации в дифференцированных интрузиях Башкирского мегантиклинория / С.Г. Ковалев, В.Н. Пучков, С.С. Ковалев, С.И. Высоцкий // Записки Российского минералогического общества. – 2020. – Т. 149, № 4. – С. 135–144.
13. Скублов, С.Г. Уникальная находка преобразования циркона в бадделеит (рудопроявления Ичетью, Средний Тиман) / С.Г. Скублов, А.О. Красоткина, А.Б. Makeev, О.Л. Галанкина, А.Е. Мельник // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 2018. – № 1. – С. 27–35.
14. Harlov, D. Fluids and geochronometers: charting and dating mass transfer during metasomatism and metamorphism / D. Harlov // J. Indian Inst. Sci. – 2015. – Vol. 95. – P. 109–124.
15. Осовецкий, Б.М. Типохимизм шлиховых минералов: справочник / Б.М. Осовецкий. – Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 2001. – 244 с.
16. Institute of Geology, Komi Science Centre, Ural Branch of the RAS. – 2015. – No. 12 (252). – P. 16–23.
17. Gosudarstvennaja geologicheskaja karta Rossijskoj Federacii. Massstab 1:1 000 000 (tretje pokolenie). Serija Uralskaja – List R-40 – Severouralsk. Objasnitelnaja zapiska [State geological map of the Russian Federation. Scale 1:1 000 000 (third generation). The Ural series – Sheet R-40 – Severouralsk. Explanatory note] / ed. by M.A. Shishkin. – St. Petersburg: VSEGEI Cartographic Factory, 2005. – 332 p.
18. Selli, R.Ch. Drevnie obstanovki osadkonakopleniya [Ancient environments of sedimentation] / R.Ch. Selli. – Moscow: Nedra, 1989. – 294 p.
19. Nikulova, N.Ju. Istochniki snosa i U-Pb vozrast detritovyh tsirkonov iz peschanikov asyvvozhskoj svity srednego devona, vozvyshennost Dzhzhimparma, Juzhnyj Timan [Sources of provenance and U-Pb age of detrital zircons from sandstones of the Asyvvozh Formation, Middle Devonian, Dzhzhimparma Rise, South Timan] / N.Ju. Nikulova, V.N. Filippov, V.B. Hubanov // Stratigraphy. Geological correlation. – 2020. – Vol. 28, No. 6. – P. 92–104.
20. Grakova, O.V. Aktsessornyj ilmenorutil almazoderzhashchih srednedevonskih porod Juzhnogo Timana [Accessory ilmenorutil of diamond containing Middle Devonian rocks of South Timan] / O.V. Grakova // Vestnik of the Institute of Geology, Komi Science Centre, Ural Branch of the RAS. – 2011. – No. 10. – P. 11–13.
21. Grakova, O.V. Vidovoj sostav, himicheskie i tipomorfnye osobennosti aktsessornyh mineralov devonskih almazoderzhashchih otlozhenij Juzhnogo i Srednego Timana [Species composition, chemical and typomorphic features of accessory minerals of the Devonian diamond-bearing deposits of the Southern and Middle Timan] / O.V. Grakova // Vestnik of the Institute of Geology, Komi Science Centre, Ural Branch of the RAS. – 2014. – No. 3. – P. 3–8.
22. Tsymbal, S. N. Mineraly tsirkonija iz kимберлитов Novolaspinskih trubki i dajki (jugo-vostok Ukrainского shchita) [Zirconium minerals from kimberlites of the Novolaspinsk pipe and dike (southeast of the Ukrainian Shield)] / S.N. Tsymbal, A.A. Kremenetskij, V.B. Sobolev, Ju.S. Tsymbal // Mineral. Journal. – 2011. – No. 1 (33). – P. 41–62.
23. Ilupin, I. P. Kimberlity [Kimberlites] / I.P. Ilupin, V.I. Vaganov, B.I. Prokopchuk. – Moscow: Nedra, 1990. – 248 p.
24. Kovalev, S.G. Pervye dannye o baddeleit-tsirkonovoj mineralizacii v differencirovannyh intruzijah Bashkirsogo megantiklinorija [First data on baddeleyite-zircon mineralization in differentiated intrusions of the Bashkir meganticlinorium] / S.G. Kovalev, V.N. Puchkov, S.S. Kovalev, S.I. Vysotskij // Notes of the Russian Mineralogical Society. – 2020. – Vol. 149, No. 4. P. 135–144.
25. Skublov, S. G. Unikalnaja nahodka preobrazovaniya tsirkona v baddeleit (rudoprojavlenija Ichetju, Srednij Timan) [A unique find of zircon transformation into baddeleyite (Ichetju ore occurrence, Middle Timan)] / S.G. Skublov, A.O. Krasotkina, A.B. Makeev, O.L. Galankina, A.E. Melnik // Proceedings of higher educational institutions. Geology and exploration. – 2018. – No. 1. – P. 27–35.

References

1. Tereshko, V.V. Perspektivy almazonosnosti devonskih otlozhenij Juzhnogo Timana [Prospects for the diamond content of the Devonian deposits of the South Timan] / V.V. Tereshko, G.Ya. Kazanceva, S.I. Kirillin // Devonian geology of the northeast of the European part of the USSR: Proceedings of the meeting. – Syktyvkar, 1991. – P. 76–77.
2. Grakova, O. V. Almazoprojavlenija Srednego i Juzhnogo Timana [Diamond occurrences of the Middle and Southern Timan] / O.V. Grakova. – Syktyvkar, 2021. – 144 p.
3. Zdorik, T. B. Baddeleit [Baddeleyite] / T.B. Zdorik // Typomorphism of minerals: a handbook. Moscow: Nedra, 1989. – P. 62–68.
4. Grakova, O. V. Petrograficheskij sostav i litohimicheskie osobennosti almazoderzhashchih otlozhenij asyvvozhskoj (D2–3as) svity Juzhnogo Timana [Petrographic composition and lithochemical features of diamond-bearing deposits of the Asyvvozhskaya (D2–3as) suite of the South Timan] / O.V. Grakova, N. S. Uljasheva // Vestnik of the In-

14. Harlov, D. Fluids and geochronometers: charting and dating mass transfer during metasomatism and metamorphism / D. Harlov // J. Indian Inst. Sci. – 2015. – Vol. 95. – P. 109-124.
15. Osovetskij, B.M. Tipohimizm shlihoovyh mineralov: Spravochnik [Typochemistry of Placer Minerals: A Handbook] / B.M. Osovetskij. Perm: Publishing house of Perm University, 2001. – 244 p.

Благодарность (госзадание)

Работа выполнена в рамках темы государственного задания ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН № 1021062211107-6-1.5.6.

Информация об авторах:

Гракова Оксана Васильевна – кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник Института геологии имени академика Н.П. Юшкина ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, <https://orcid.org/0000-0001-5917-9218> (Российская Федерация, 167982, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Первомайская, д. 54; e-mail: ovgrakova@geo.komisc.ru).

About the authors:

Oksana V. Grakova – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Research Associate, Institute of Geology, Federal Research Centre Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, <https://orcid.org/0000-0001-5917-9218> (54, Pervomayskaya Str., Syktyvkar, Komi Republic, 167982, Russian Federation; e-mail: ovgrakova@geo.komisc.ru).

Для цитирования:

Гракова, О.В. Бадделеит и циркон из алмазосодержащих отложений ($D_{2-3}as$) на Южном Тимане / О.В. Гракова // Известия Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук. Серия "Науки о Земле". – 2022. – № 2 (54). – С. 47–54. УДК 549:553.81.068.5:551.734.3 (234.83). DOI 10.19110/1994-5655-2022-2-47-54

For citation:

Grakova, O.V. Baddeleyite and zircon from diamond-bearing deposits ($D_{2-3}as$) in the Southern Timan / O.V. Grakova // Proceedings of the Komi Science Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. Earth Sciences Series. – 2022. – No.2 (54). – P. 47–54. УДК 549:553.81.068.5:551.734.3 (234.83). DOI 10.19110/1994-5655-2022-2-47-54

Дата поступления рукописи: 10.01.22

Прошла рецензирование: 15.04.22

Принято решение о публикации: 21.04.2022.

Received: 10.01.22

Reviewed: 15.04.22

Accepted: 21.04.2022.