

УДК 553.823 + 553.824

СВОДНЫЙ ОБЗОР МЕСТОРОЖДЕНИЙ И КРУПНЫХ ПРОЯВЛЕНИЙ БЛАГОРОДНЫХ КОРУНДОВ ДОКЕМБРИЯ МИРА

Н. Г. Барнов¹, В. В. Щипцов^{2,3}

¹ Горный институт НИТУ «МИСиС», Москва, Россия

² Институт геологии КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия

³ Петрозаводский государственный университет, Россия

Приводится сводный обзор месторождений и проявлений благородных корундов в рудных районах докембрия мира. Коренные источники месторождений рубинов и сапфиров выделены в две группы. Первая группа представлена магматическими, пегматитовыми и метасоматическими месторождениями, главным образом фанерозоя. Вторая группа по времени формирования в основном относится к докембрийским образованиям. В статье рассматривается образование благородных корундов, связанное с докембрийскими комплексами в границах провинций, поясов и рудных районов, и приводится краткая характеристика корундоносных комплексов в докембрии от неоархейских до неопротерозойских с привязкой к конкретному месторождению или проявлению. Дана схема P-T условий метаморфизма при формировании месторождений корунда, источниками которых являются докембрийские корундоносные метаморфические комплексы докембрия с возрастом от 2,7–2,8 млрд до 610 млн лет.

Ключевые слова: благородные корунды; рубин; сапфир; месторождение; докембрий; метаморфизм.

N. G. Barnov, V. V. Shchiptsov. A SUMMARY OVERVIEW OF DEPOSITS AND LARGE OCCURENCES OF NOBLE PRECAMBRIAN CORUNDUM IN THE WORLD

The paper is a summary review of the deposits and occurrences of noble corundum in Precambrian ore regions of the world. The ore bodies of ruby and sapphire deposits are divided into two groups. The first group comprises magmatic, pegmatite, and metasomatic deposits, mainly of Phanerozoic age. The second group is mainly represented by Precambrian formations. The article considers the formation of noble corundum associated with Precambrian complexes within the borders of provinces, belts and ore regions, and provides a brief description of corundum-bearing complexes in the Precambrian from Neoarchean to Neoproterozoic, with references to the respective deposits or occurrences. We indicate the P-T setup for metamorphism during the formation of corundum deposits from Precambrian corundum-bearing metamorphic complexes aged from 2.7–2.8 Ga to 610 Ma.

Keywords: noble corundum; ruby; sapphire; deposit; Precambrian; metamorphism.

Введение

Рубиновая и сапфировая минерализация зафиксирована более чем в 50 странах мира на всех континентах, кроме Антарктиды, но большинство проявлений имеют лишь историческое или минералогическое значение. В данной статье речь идет только о промышленных или перспективных объектах докембрийских благородных корундов, находящихся в провинциях, поясах или определенных рудных районах мира. В качестве вводной справки необходимо отметить, что наиболее крупными металлогеническими объектами принято считать пояса и провинции [Российский..., 2003]. Минерагеническая провинция – это рудоносная площадь размером в сотни тысяч км², охватывающая крупный блок земной коры. Металлогенический пояс представляет собой рудоносную площадь обычно линейного развития (до 10 000 км в длину при ширине в сотни км), отличающуюся отчетливой линейной ориентировкой. В геологическом отношении условия образования месторождений соответствуют надпорядковым геологическим структурам – платформам и складчатым поясам – или занимают значительную их часть, по площади составляющую сотни тысяч – первые миллионы квадратных километров. Следующими в таксономической иерархии обычно выступают минерагенические районы, как правило, имеющие площадь от первых тысяч до десятков тысяч квадратных километров.

В корундоносных провинциях, поясах и рудных районах определяются моногенетические и полигенетические месторождения. К первым относятся месторождения магматического, пегматитового и собственно метасоматического (постмагматического) происхождения, ко вторым – полихронные и полифациальные собственно метаморфические и метаморфогенно-метасоматические месторождения [Барнов, Мельников, 2015; Барнов и др., 2016].

Первая группа представлена магматическими месторождениями Восточной Австралии, Полярного Урала, российского Дальнего Востока, Восточного Китая, Индокитайского полуострова, Нигерии, Колумбии, штата Монтана (США), пегматитовыми месторождениями Бразилии, метасоматическими месторождениями Кении, Танзании, Малави и др. Вторая группа объединяет однотипные по генезису (метаморфогенно-метасоматические) месторождения Высокой Азии (Мьянма, Таджикистан, Афганистан, Шри-Ланка и другие страны), Восточной Африки (Мадагаскар, ЮАР), Среднего и Южного Урала, Карело-Кольского региона (Россия),

Восточной Бразилии (штат Минас-Жерайс и др.), Северной Каролины (США), Канады, Гренландии. Коренные месторождения благородных корундов второй группы по времени формирования в основном относятся к докембрийским образованиям.

Ниже приводится краткая характеристика этих докембрийских источников благородных корундов с привязкой к провинциям, поясам, рудным районам мира.

Южно-Азиатская сапфир-рубиноносная провинция

Для этой провинции, самой известной в мире благодаря обилию самоцветов, в том числе и благородных корундов, помимо образованных на обширной площади (450 тыс. км²) месторождений благородных корундов области позднемезозойско-кайнозойской складчатости и активизированных в нижнем палеозое, характерно широкое проявление докембрийской рубин-сапфировой минерализации на значительной площади, включающей семь азиатских стран – Афганистан (Jegdalek), Непал (Chumar, Ruyil), Пакистан (Hunza valley, Batakundi), Таджикистан (Turakuloma, Badakhshan), Мьянма (Mogok, Mong Hsu), Индия (Kalahandi, Mysore), Шри-Ланка (Ratnapura, Bakamuna). Докембрийские корундосодержащие пегматиты не имеют промышленного значения.

В Пакистане, у его северо-западной границы с Афганистаном, в окрестностях Тимагра, в 1960 г. открыто более 10 месторождений рубинов в толще мраморов по долине р. Хунза [Gübelin, 1982], в которых отмечено высокое содержание в коренной породе рубинов с размерами кристаллов не более 15 мм. Рубины в мраморах характерны для афганского месторождения Jegdalek вблизи города Сороби. В Индии, например, древнейшие месторождения рубинов известны в штатах Орисса (месторождение Kalahandi) и Карнатака (месторождение Mysore). Там обнаружены непрозрачные рубины в силлиманитовых гнейсах и др. [Буканов, 2014].

Субстрат коренной минерализации благородных корундов докембрия представлен мраморами, гнейсами, чарнокитами, кристаллическими сланцами со ставролитом, кианитом, цоизитом, свидетельствующими о высоких температурах в диапазоне 750–900 °С и повышенном давлении (7–12 кбар) минералообразования. Для рубинов и сапфиров Шри-Ланки абстрактно допускается архейский возраст прозрачных и ярко окрашенных кристаллов корундов [Wells, 1956; Silva, Siriwardena, 1988].

Здесь не только проявлены процессы регионального высокотемпературного метаморфизма гранулитовой и амфиболитовой фаций, но в зонах тектонических напряжений с этими процессами тесно связаны скарнообразование и грейзенизация.

В Южно-Азиатской рубин-сапфиноносной провинции выделяются полигенетические типы месторождений и проявлений, в отличие от типичных магматических и локальных метасоматических месторождений, объединяющихся в моногенетические группы. Месторождения благородных корундов Южно-Азиатской провинции редко сопровождаются связанными с ними россыпями [Giuliani et al., 2020]. Рубины и сапфиры добываются непосредственно из коренных пород, представленных мраморами, кристаллическими сланцами, гнейсами и слюдит-плагиоклазитами на примерах месторождений Таджикистана, Афганистана, Пакистана и Непала [Мельников и др., 2002]. Характерно наличие пурпурно-красных рубинов (типа «голубиная кровь») (Могок) [Iyer, 1953] и рубинов с фиолетово-синим оттенком окраски на месторождениях Таджикистана, Афганистана, Непала и Мьянмы [Буканов, 2014].

Карело-Кольская сапфир-рубиноносная провинция (Россия)

Докембрийская составляющая этой провинции представлена рубиносодержащими породами в составе глубоко метаморфизованных гнейсов и амфиболитов беломорской серии неоархейя Фенноскандинавского щита (месторождение Хитостров, проявления Дядина гора, Варацкое, Нятовара, Перуселька и др.) [Громов, 1993]. По времени образование корундов обязано, вероятно, интенсивно проявленным процессам, связанным со свекофеннской тектоно-магматической активизацией с возрастом 1,9–1,7 млрд лет.

Среди коренных корундоносных объектов метаморфогенного происхождения наиболее известным является месторождение Хитостров в 10 км северо-восточнее поселка Чупа [Терехов, Левицкий, 1991]. Кристаллы корунда образуются здесь в ставролит-биотит-гранат-амфиболовой породе на тектоническом контакте между кианит-гранат-биотитовыми гнейсами и гранатовыми амфиболитами. Появление корундов связывается с базификатами, образованными, по данным геобарометрии, при давлении 7–9 кбар, что объясняется накоплением напряжения в отдельных зонах с высокой глиноземистостью и магнетизальностью [Громов, 1993]. Цвет их сероватрозовый, бледно-розовый, малиновый, основная

масса кристаллов – длиной 1–5 см и в поперечнике до 3 см, непрозрачны, некоторые из них просвечивающие. Корунды рассматриваются как коллекционное сырье.

Восточно-Африканский рубин-сапфиноносный пояс Африканской платформы

Расположен в зоне глубинных разломов и рифтов и структурно приурочен к докембрийской области складчатости Мозамбикского пояса от Кении на севере до ЮАР и острова Мадагаскар на юге. Общая площадь пояса около 25 тыс. км². В этом поясе сосредоточен целый ряд крупных месторождений благородных корундов: Танзания – Umba valley, Longido, Winza Morogoro, Mahenge, Songea, Tunduru; Кения – West Pokot, Baringo, Kitui, Mangare; Малави – Chimwadzulu; Зимбабве – O'Briens; Конго-Киншас – Mbuii-Mavi; ЮАР – Barberton; Мозамбик – Montepuez; Мадагаскар – Maniry, Gogogogo, Vohitany, Ejeda [Saul, 2015; Giuliani et al., 2020]. Геологическая особенность данного пояса заключается в том, что он состоит из стабильных изометричных глубоко метаморфизованных блоков (гнейсо-мигматитовые купола) и узких подвижных метаморфизованных зон. С первыми связаны, например, коренные рубины в мраморах на северо-востоке ЮАР и сапфиры на юге острова Мадагаскар, тогда как большинство других месторождений локализованы в основных и ультраосновных телах, подверженных метасоматическим изменениям на границе химически разнородных пород. Возраст коренной минерализации благородных корундов, как правило, протерозойский.

Для метасоматических месторождений Танзании, Кении, Малави, Зимбабве и других объектов Восточно-Африканского пояса чрезвычайно типична зональность и пестрота окраски рубинов и сапфиров, получивших специальный торговый термин – «пестроцветный сапфир-танзания». Метаморфогенные сапфиры Мадагаскара напоминают по морфологическим особенностям кристаллы сапфира из месторождений индийского Кашмира, близки к рубинам из мраморов ЮАР и к рубинам метаморфических пород Афганистана, Таджикистана, Мьянмы и других стран Южно-Азиатской корундоносной провинции. Рубины из Кении и Танзании удивляют еще со времен их открытия в 60-х годах своим красивым насыщенным цветом, варьирующим от светло- до темно-красных тонов [Буканов, 2014]. Рубины хорошего качества и размера.

Из стран Африки по числу месторождений с благородным корундом лидирует Танзания –

14 месторождений. Наиболее интересное находится у оз. Маньяра, вблизи поселения Маджи-Мото, где вместе с рубином добываются александрит, изумруд и другие самоцветы. В том же районе добывались прекрасные оранжевые сапфиры. Месторождения образованы в гипербазитах, которые обнаружены в сравнительно небольших телах в области распространения гнейсо-амфиболитовых полей протерозойской системы Узагоды. В 1980 г. еще одно месторождение прозрачного рубина открыто в провинции Морогоро, у поселения Махенге, в 100 км к югу от г. Матомбо. Месторождения Umba valley и Longido принадлежат к группе типичных корундовых плагиоклазитов ряда плюмазита-кыштымита и отличаются от грубо- до гигантозернистой структурой и наличием крупных кристаллов благородного корунда [Hintze, 2010].

Помимо Танзании самые значимые месторождения расположены в долине Умба в Кении. В 1974 г. открыто месторождение рубинов между г. Танта-Хилз и Национальным парком «Тсаво» [Simonet, 2000]. К югу от Танзании в Малави выявлено месторождение рубинов Chimwadzulu. Оно находится в 70 км южнее оз. Ньяса в Кении, вблизи границы с Мозамбиком.

В Зимбабве добываются разной окраски сапфиры, в т. ч. зональные – кремово-белые в центре и синие по краям с размером кристаллов до 7 см. Из этой страны на рынок поступают также черные звездчатые сапфиры.

В южной части острова Мадагаскар известны месторождения докембрийских рубинов (Maniry, Gogogogo, Vohitany, Ejeda). Еще одно месторождение рубинов и сапфиров находится в центральной части острова у г. Антанифотси. На юге острова в последние годы выявлены новые месторождения сапфиров в районе городов Бекили, Андранондамбо, Абоасари и Сакара. В 1996 г. на северной оконечности острова, вблизи поселения Амбилубе, в районе г. Амбоудрохефеа, открыто месторождение синих, сине-фиолетовых и коричнево-красных сапфиров с кристаллами длиной до 2 см [Saul, 2015; Giuliani et al., 2020].

Мадагаскарские сапфиры из южных месторождений наиболее похожи на цейлонские, обладают богатой цветовой гаммой, но они значительно отстают от цейлонских по полноте кристаллизации. В них много минеральных и газовых включений, они трещиноваты. Для искусственного лечения трещин и полостей был разработан метод с использованием свинцового стекла. По наличию природных бесцветных и розовых сапфиров Мадагаскар относится к мировым лидерам [Буканов, 2014].

Нигерийский сапфиноносный район

Слабоизученный нигерийский район по геологической позиции весьма близок к охарактеризованным объектам Восточно-Африканского пояса: тот же архейско-протерозойский возраст субстрата коренной сапфировой минерализации, ее положение в зоне крупнейшего регионального глубинного разлома и интенсивные процессы тектоно-метаморфической и магматической активизации, развитые здесь. Коренной источник сапфиров не установлен, предположительно, он магматический [Барнов и др., 2016]. Состав твердых минеральных включений в сапфирах, особенно урансодержащего облучивита, позволяет считать такое предположение весьма вероятным.

Месторождения сапфиров расположены в штате Кадуна в центральной части страны. Сапфиры добываются из четвертичных аллювиальных россыпей. Имеют темно-синий цвет, редко встречаются желтые разновидности. Обрабатываются обычно в виде кабошонов из-за темного цвета, вызванного обилием минеральных и иных включений и дефектов [Kiefert, Schmetzer, 1987; Kanis, Harding, 1990].

Восточно-Бразильский рубин-сапфиноносный пояс

Протягивается почти на 3 тыс. км вдоль Атлантического побережья Бразилии (штаты Баия, Минас-Жерайс, Гояс, Мату-Гросу-ду-Сул) и преимущественно приурочен к архейскому Восточно-Бразильскому щиту, отделенному от Западно-Бразильского щита, где находятся месторождения штата Мату-Гросу [Principais..., 1991]. Восточно-Бразильский щит интенсивно преобразован в процессе вендской активизации на рубеже протерозоя и фанерозоя (650–500 млн лет). В результате породы глубоко метаморфизованы, рекристаллизованы, насыщены интрузивно-реоморфическими гранитами, щелочными и гранитными пегматитами, кварцевыми, полевошпатовыми и карбонатными жильными образованиями.

В Бразилии месторождения и проявления рубинов также известны на реке Парагуачу (аллювиальные россыпи Витория де Конкуиста), а коренная минерализация зафиксирована в метаморфических породах района Камним Гроссо штата Баия, в щелочных пегматитах Пекисе штата Гояс и в метаморфических толщах Гуанхейес и Багуари штата Минас-Жерайс. Сапфиры встречаются на россыпных месторождениях Джауру Каксина, Фоги, Индиана, Грик и других в штате Минас-Жерайс, месторожде-

ниях Малакахета и Диамантина в штате Мату Гросу, в щелочных пегматитах Пеиксе в штате Гояс и Ладжес в штате Санта-Катарина. Окраска рубинов красная, розовая, сапфиров – светло-голубая, реже синяя, серовато-синяя. Таким образом, в Бразилии фиксируются два генетических источника благородных корундов – щелочно-пегматитовый и метаморфогенный.

Восточно-Американский рубиноносный район

Географически район расположен в Северной Каролине. Рубины фиксируются только в современных аллювиальных рубиноносных песчано-гравийных мелких россыпях бассейна р. Малая Теннесси (Corundum Hill, Cowee Valley, Buck Creek) [Steven, Youkovich, 1985]. Цвет рубинов красный, с интенсивным плеохроизмом. В ограниченном виде кристаллы редко превышают вес, равный 1–2 каратам. Коренными источниками рубинов Северной Каролины рассматриваются корундосодержащие докембрийские гнейсы, кристаллические сланцы, другие метаморфические породы и, возможно, генетически связанные с ними плагиоклазиты.

Канадский рубин-сапфиросный район

Находки и мелкие месторождения благородных корундов сосредоточены в провинциях Онтарио и Квебек, территория которых сложена архейскими и нерасчлененными докембрийскими породами.

Месторождения сапфиров (реже рубинов) связаны с корундовыми сиенитами и сиенит-пегматитами, образующими жилы и дайки в толщах гранитогнейсов и гнейсов вблизи контактов их с массивами щелочных и нефелиновых сиенитов. Наиболее известным из них является месторождение Revelstoke [Dzikowski et al., 2014].

Гренландский юго-западный рубиноносный пояс

Гренландия представляет собой крупнейший остров между Атлантическим и Северным Ледовитым океанами, более 80 % территории которого покрыто льдами. Породы, слагающие гренландскую часть Канадского щита, представлены мраморами, кристаллическими сланцами, гнейсами, гранитогнейсами, кварцитами и гранитами архейского и палеопротерозойского возрастов, с несогласием перекрытыми вулканогенно-осадочными толщами мезопротерозоя. С архейско-палеопротерозойски-

ми метаморфическими комплексами связаны проявления и месторождения благородных корундов и драгоценных металлов (золота и серебра) [Garde, Marker, 1988]. На западе кристаллический массив выходит из-под льдов на дневную поверхность, образуя в среднем 200-километровый пояс плоскогорий и горных хребтов на побережье моря Баффина.

Комплекс Фискенессет с возрастом 2,97 млн лет является одной из наиболее хорошо сохранившихся расслоенных многофазных архейских интрузий в мире. Он состоит из анортозита, лейкогаббро, габбро и метаморфизованных ультрабазитов [Polat et al., 2010]. Несмотря на метаморфизм амфиболитовой и гранулитовой фаций, пик которого приходится на 2,80 млрд лет, первичные кумулятивные текстуры и магматические реликты хорошо сохранились в этом комплексе. Метаморфические процессы, приведшие к формированию тектоно-метаморфических зон с проявлениями и месторождениями благородно-корундовой минерализации, сопоставимы с метаморфическими сериями гранулитового и амфиболитового метаморфизма Канадского и Фенноскандинавского щитов [Fagan, 2018].

Рубины из комплекса Фискенессет отличаются высоким содержанием Cr, промежуточным содержанием Fe, низким содержанием V, Ga и Ti, низким содержанием изотопов кислорода (1,6–4,2 %), редкими минеральными включениями (например, антофиллит+биотит).

В настоящее время на юго-западе Гренландии открыто перспективное месторождение рубинов и розовых сапфиров. После оценки горно-геологических, технологических, экономических и экологических условий эксплуатации месторождения в результате совместной работы правительства Гренландии и международных экспертов канадской компании «True North Gems-TNG» выдано разрешение на начало проходки шахты по добыче благородных корундов [Барнов и др., 2016].

Рудник Aappaluttoq находится на юго-западном побережье Гренландии в 160 км к югу от столицы Нуук и в 15 км юго-восточнее поселения Фискенессет [Fagan, 2018]. Месторождение и сам рудник имеют название, в переводе с гренландского означающее «красная гора», что свидетельствует о давней известности находок «красного» (красивого) минерала корунда местными жителями в данном районе.

Горные породы в районе месторождения Aappaluttoq – архейского возраста, интенсивно смяты в изоклинальные складки с близширотной ориентировкой их осей и осложненные многочисленными тектоническими нарушениями.

В районе Фискенесет обнаружено более 30 новых находок кристаллов рубинов и розовых сапфиров и более крупных их проявлений в коренных докембрийских горных породах и родственных россыпях [Keulen et al., 2020]. Прогнозные запасы благородных корундов месторождения Aappaluttoq, по оценкам независимых экспертов, составляют 340–400 млн каратов, что выводит его в разряд уникальных объектов мирового значения. Срок эксплуатации месторождения составит 30–40 лет. Находки отдельных кристаллов и проявлений рубиновой и сапфировой минерализации различного масштаба концентрируются вдоль крупного регионального разлома в породах анортозит-метагаббрового состава.

Роль метаморфизма при образовании благородных корундов и краткие замечания по возрасту

Специфика условий метаморфизма отражена на рисунке, на котором представлены P-T поля: (1) месторождения в мраморах Mong Hsu [Peretti et al., 1996], Luc Yen и Jegdalek [Garnier et al., 2008], Hunza [Okrusch et al., 1976], Revelstoke [Dzikowski et al., 2014], Mahenge [Balmer et al., 2017] показаны прямоугольниками черного цвета и (2) докембрийские корундосодержащие месторождения и проявления ультрабазит-базитового комплекса и метаморфические *sensu stricto* или связанные с метаморфизмом и метасоматозом показаны прямоугольниками серого цвета: Гренландия – Kangerdluarssuk [Garde, Marker, 1988], Aappaluttoq [Fagan, 2018; Keulen, 2020]; Южная Кения [Key, Ochieng, 1991; Simonet, 2000]; Montepuez [Fanka, Sutthirat, 2018]; Mangare [Mercier et al., 1999]; Winza [Schwarz et al., 2008], North Carolina [Tenthorey et al., 1996] и Vohibory [Rakotondrazafy et al., 2008].

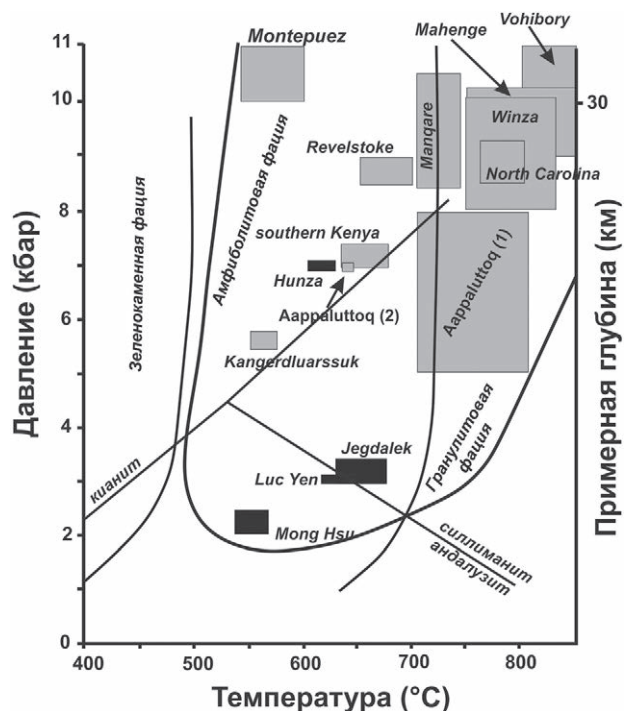
Разными методами датирования (в основном U-Pb методом по цирконам) были определены четыре основных периода образования корунда во всем мире [Giuliani et al., 2020]. Здесь даются комментарии к первой возрастной группе – докембрийской. К сожалению, определенные данные о датировании комплексов, содержащих древние корунды, незначительны. Относительный возраст обсуждается по геологическим результатам исследований, включая условия метаморфизма.

Месторождение Aappaluttoq в Гренландии сформировалось в архее, где рубин датируется как архейский. Если изохрону Pb-Pb, определенную по цирконам Aappaluttoq, интерпретировать как возраст перекристаллизации корун-

да в благородный корунд, то возраст согласуется с событиями региональной геологической обстановки. Месторождение рубинов Aappaluttoq образовалось 2.97–2.6 Ga [Polat et al., 2010]. В настоящее время этот объект имеет самый древний возраст.

Образование метаморфогенных корундов, источников промышленного сырья, на Канадском и Фенноскандинавском щитах связано с процессами тектоно-магматической активизации в палеопротерозое (Северная Карелия – свекофеннский этап активизации).

Основным периодом формирования благородных корундов был панафриканский орогенез (750–450 млн лет назад) (табл.). Сюда входят месторождения рубинов и сапфиров в поясе драгоценных камней Восточной Африки, Индии, Шри-Ланки [Giuliani et al., 2014], связанные с коллизионными процессами между Восточной и Западной Гондваной во время



P-T условия метаморфизма при формировании месторождений корунда [Simonet et al., 2008; Giuliani et al., 2014].

P-T поля рубинового и розового корундов в клинопироксенитах и ксенолитах в метагаббро-ксенолитах, связанных с щелочными базальтами, не показаны. Приведены схематические поля зеленокаменной, амфиболитовой и гранулитовой фацций

P-T formation conditions of metamorphic gem ruby [Simonet et al., 2008; Giuliani et al., 2014].

The P-T fields of ruby and pink corundum in clinopyroxenites and metagabbro xenoliths associated with alkali basalts are not shown. The schematic fields of Greenschist, Amphibolite, and Granulite facies are given

Таблица возрастов корундоносных комплексов докембрия по данным результатов U-Pb датирования циркона
Table of ages of corundum-bearing Precambrian complexes according to the results of U-Pb dating of zircon

№	Месторождение, страна Deposit, country	Возраст Age	Источник Sources
1	John Saul, Кения / Kenya	612 ± 6 млн лет 612 ± 6 Ma	Saul, 2015
2	Longido, Танзания / Tanzania	610 ± 6 млн лет 610 ± 6 Ma	Le Goff et al., 2010
3	Vohibory, Мадагаскар / Madagascar	612 ± 5 млн лет 612 ± 5 Ma	Jons, Schenk, 2008
4	Aappaluttoq, Гренландия / Greenland	2.97–2.6 Ga	Polat et al., 2010

панафриканских тектонико-метаморфических событий [Kroner, 1984]. Данные результатов U-Pb датирования циркона из рудника John Saul в Кении (612 ± 6 млн лет [Saul, 2015]), Longido в Танзании (610 ± 6 млн лет [Le Goff et al., 2010]) и месторождения Vohibory на Мадагаскаре (612 ± 5 млн лет [Jons, Schenk, 2008]) подтверждают периоды формирования, связанные с восточноафриканским орогенезом.

Заключение

Проведенная систематизация и обобщение имеющихся материалов и собственных данных по докембрийским источникам месторождений благородных корундов мира позволяют констатировать, что месторождения метаморфогенного типа в целом значительно древнее по отношению к трем более молодым возрастным группам месторождений благородных корундов мира. Их возраст определяется как архейский в Гренландии, архей-протерозойский в Южной Азии (Индия, Шри-Ланка, Таджикистан и др.), палеопротерозойский в Канаде и Карелии (Россия), протерозойский в Северной Каролине (США) и венд в Восточной Африке (ЮАР, Кения, Танзания, Мадагаскар), Нигерии и Бразилии.

Работа выполнена при финансовой поддержке темы НИР 210 ИГ КарНЦ РАН 121040600173–1.

Литература

Барнов Н. Г., Мельников Е. П., Викторов М. А. Минералогия месторождений благородных корундов мира // Отечественная геология. 2016. № 1. С. 39–45.

Барнов Н. Г., Мельников Е. П. Генетические типы благородных корундов // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2015. № 6. С. 79–85.

Буканов В. В. Цветные камни и коллекционные минералы. Энциклопедия. СПб.: Ottava Book Printing, 2014. 464 с.

Громов А. В. Розовый корунд из Хитостровского проявления в Северной Карелии // Мир камня. 1993. № 2. С. 1–3.

Мельников Е. П., Васильев А. В., Викторов М. А. Нетрадиционная генетическая типизация месторождений и свойства благородных корундов // Вестник геммологии. 2002. № 2. С. 7–18.

Российский металлогенический словарь. СПб.: ВСЕГЕИ, 2003. 320 с.

Терехов Е. Н., Левицкий В. И. Геолого-структурные закономерности размещения корундовой минерализации в северо-западном Беломорье // Изв. вузов. Геол. и разведка. 1991. № 6. С. 3–13.

Balmer W. A., Hauzenberger C. A., Fritz H., Sutthirat C. Marble-hosted ruby deposits of the Morogoro region, Tanzania // J. Afr. Earth. Sci. 2017. No. 134. P. 626–643. doi: 10.1016/j.jafrearsci.2017.07.026

Dzikowski T. J., Cempirek J., Groat L. A., Dipple G. M., Giuliani G. Origin of gem corundum in calcite marble: The Revelstoke occurrence in the Canadian Cordillera of British Columbia // Lithos. 2014. P. 198–199, 281–297. doi: 10.1016/j.lithos.2014.03.030

Fagan A. J. The ruby and pink sapphire deposits of SW Greenland: Geological setting, genesis, and exploration techniques: PhD Thesis, University of British Columbia, Vancouver, BC, Canada, 2018.

Fanka A., Sutthirat C. Petrochemistry, mineral chemistry, and pressure-temperature model of corundum-bearing amphibolite from Montepuez, Mozambique // Arab. J. Sci. Eng. 2018. No. 43. P. 3751–3767. doi: 10.1007/s13369-018-3172-8

Garde A., Marker M. Corundum crystals with blue-red color zoning near Kangerdluarssuk, Sukkertoppen district, West Greenland // Rep. Gronl. Geol. Unders. 1988. Vol. 140. P. 46–49.

Garnier V., Giuliani G., Ohnenstetter D., Fallick A. E., Dubessy J., Banks D., Vinh H. Q., Lhomme T., Maluski H., Pêcher A., Bakhsh K. A., Long P. V., Trinh Ph. T., Schwarz D. Marble-hosted ruby deposits from central and Southeast Asia: Towards a new genetic model // Ore Geol. Rev. 2008. Vol. 34. P. 169–191. doi: 10.1016/j.oregeorev.2008.03.003

Giuliani G., Groat L., Fallick A., Pignatelli I., Pardieu V. Ruby deposits: A review and geological classification // Mineralogy and Geochemistry of Ruby. Minerals. 2020. Vol. 10(7). Art. 597. doi: 10.3390/min10070597

Giuliani G., Ohnenstetter D., Fallick A. E., Groat L., Fagan J. The geology and genesis of gem corundum

deposits // *Geology of Gem Deposits* / Ed. L. A. Groat. Tucson, AZ, USA: Mineralogical Association of Canada, 2014. Short Course Series. Vol. 44. P. 29–112.

Gübelin E. J. Die Edelsteinvorkommen Pakistans: Rubine aus dem Hunzatal // *Lapis*. 1982. Vol. 7, no. 5. P. 19–31. (In German)

Hintze J. Safari ndjema – Afrikanisches Tagebuch (II): Rubin in Zoisit – ein Klassiker aus Longido in Tansania // *Lapis*. 2010. Vol. 35(12). P. 15–19 (In German).

Iyer L. A. N. The geology and gemstones of the Mogok stone tract, Burma // *Memoirs of the Geological Survey of India*. 1953. Vol. 82. P. 7–100.

Jons N., Schenk V. Relics of the Mozambique Ocean in the central East African Orogen: Evidence from the Vohibory Block of Southern Madagascar // *J. Metam. Geol.* 2008. Vol. 26. P. 17–28. doi: 10.1111/j.1525-1314.2007.00745.x

Kanis J., Harding R. R. Gemstone prospects in central Nigeria // *J. Gemmol.* 1990. Vol. 22, no. 4. P. 195–202.

Keulen N., Thomsen T. B., Schumacher J. C., Poulsen M. D., Kalvig P., Vennemann T., Salimi R. Formation, origin and geographic typing of corundum (ruby and pink sapphire) from the Fiskenasset complex, Greenland // *Lithos*. 2020. Vol. 366–367. Art. 105536. doi: 10.1016/j.lithos.2020.105536

Key R. M., Ochieng J. O. The growth of rubies in south-east Kenya // *J. Gemmol.* 1991. Vol. 22. P. 484–496.

Kiefert L., Schmetzer K. Blue and yellow sapphire from Kaduna Province, Nigeria // *J. Gemmol.* 1987. Vol. 20, no. 7/8. P. 427–442.

Kröner A. Late Precambrian plate tectonics and orogeny: a need to redefine the term Pan-African // Klerkx J., Michot J. (eds) *African geology*. Musée Royal L'Afrique Centrale. Tervuren, Belgium, 1984. P. 23–28.

Le Goff E., Deschamps Y., Guerrot C. Tectonic implications of new single zircon Pb-Pb evaporation data in the Lossogonoi and Longido ruby-districts, Mozambican metamorphic Belt of north-eastern Tanzania // *Comptes Rendus Geosci.* 2010. Vol. 342. P. 36–45. doi: 10.1016/j.crte.2009.10.003

Mercier A., Debat P., Saul J. M. Exotic origin of the ruby deposits of the Mangari area in SE Kenya // *Ore Geol. Rev.* 1999. Vol. 14. P. 83–104. doi: 10.1016/S0169-1368(99)00002-5

Okrusch M., Bunch T. E., Bank H. Paragenesis and petrogenesis of a corundum-bearing marble

at Hunza (Kashmir) // *Mineral. Depos.* 1976. Vol. 11. P. 278–297. doi: 10.1007/BF00203079

Peretti A., Mullis J., Mouawad F. The role of fluoride in the formation of color zoning in rubies from Mong Hsu (Myanmar, Burma) // *J. Gemmol.* 1996. Vol. 25. P. 3–19. doi: 10.15506/JoG.1996.25.1.3

Polat A., Schersten A., Appel P. W. U., Frei R. New age (ca. 2970 Ma), mantle source composition and geodynamic constraints on the Archean Fiskenasset anorthosite complex, SW Greenland // *Chemical Geology*. 2010. Vol. 277(1). P. 1–20.

Principais depositos minerales do Brasil. Vol. IV, pt. A. Brasilia, 1991. (In Portuguese)

Rakotondrazafy A. F. M., Giuliani G., Ohnenstetter D., Fallick A. E. Gem corundum deposits of Madagascar: a review // *Ore Geology reviews*. 2008. Vol. 34(1). P. 134–154.

Saul J. M. A geologist speculates: On gemstones, origins of gas and oil, moonlike impact scars on the Earth, the emergence of animals and cancer. 2015. 160 p.

Schwarz D., Pardieu V., Saul J. M., Schmetzer K., Laurs B. M., Giuliani G., Klemm L., Malsy A. K., Hauzenberger C., Du Toit G., Fallick A. E., Ohnenstetter D. Rubies and sapphires from Winza, Central Tanzania // *Gems Gemol.* 2008. Vol. 44. P. 322–347. doi: 10.5741/GEMS.44.4.322

Silva K. K. M. W., Siriwardena C. H. E. R. Geology and the origin of the corundum-bearing skarn at Bakamuna, Sri Lanka // *Mineralium Deposita*. 1988. Vol. 23, iss. 3. P. 186–190.

Simonet C. *Geologie des Gisements de Saphir et de Rubis. L'exemple de la John Saul Mine, Mangari, Kenya*: PhD thesis. Nantes, France, 2000. (In French)

Simonet C., Fritsch E., Lasnier B. A classification of gem corundum deposits aimed towards gem exploration. *Ore Geol. Rev.* 2008. Vol. 34. P. 127–133. doi: 10.1016/j.oregeorev.2007.09.002

Steven P., Youkovich S. Ruby mines of North Carolina // *Rocks and Miner.* 1985. Vol. 60, 2.

Tenthorey E. A., Ryan J. G., Snow E. A. Petrogenesis of sapphirine-bearing metatroctolites from the Buck Creek ultramafic body, southern Appalachians // *J. Metam. Geol.* 1996. Vol. 14. P. 103–114.

Wells A. J. Corundum from Ceylon // *Geol. Magazine*. 1956. Vol. 93, no. 1. P. 25–31.

Поступила в редакцию 27.09.2021

References

Barnov N. G., Mel'nikov E. P., Viktorov V. P. Mineralogiya mestorozhdenii blagorodnykh korundov mira [Mineralogy of noble corundum deposits of the world]. *Otechestvennaya geol.* [National Geol.]. 2016. No. 1. P. 39–45.

Barnov N. G., Mel'nikov E. P. Geneticheskie tipy blagorodnykh korundov [Genetic types of noble corundum]. *Mining Information and Analytical Bull.* 2015. No. 6. P. 79–85.

Bukanov V. V. Tsvetnye kamni i kollektzionnye mineraly [Colored stones and collectible minerals. Encyclopedia]. St. Petersburg: Ottava Book Printing, 2014. 464 p.

Gromov A. V. Rozovyi korund iz Khitoostrovskogo proyavleniya v Severnoi Karelii [Pink corundum from the Khitostrovsky occurrence in North Karelia]. *Mir kamnya* [World of Stones]. 1993. No. 2. P. 1–3.

Mel'nikov E. P., Vasil'ev A. V., Viktorov V. P. Netradiatsionnaya geneticheskaya tipizatsiya mestorozhdenii i svoistva blagorodnykh korundov [Non-traditional genetic typification of deposits and properties of noble corundum]. *Vestnik gemmol.* [Gemol. Bull.]. 2002. No. 2. P. 7–18.

Rossiiskii metallogenicheskii slovar' [Russian metallogenetic dictionary]. St. Petersburg: VSEGEI, 2003. 320 p.

- Terekhov E. N., Levitskii V. I. Geologo-strukturnye zakonomernosti razmeshcheniya korundovoi mineralizatsii v severo-zapadnom Belomor'e [Geological and structural regularities of corundum mineralization in the northwestern Belomor'e]. *Izvestiya vusov. Geol. i razvedka* [Proceed. Higher Ed. Inst. Geol. and Exploration]. 1991. No. 6. P. 3–13.
- Balmer W. A., Hauzenberger C. A., Fritz H., Suthirath C. Marble-hosted ruby deposits of the Morogoro region, Tanzania. *J. Afr. Earth. Sci.* 2017. No. 134. P. 626–643. doi: 10.1016/j.jafrearsci.2017.07.026
- Dzikowski T. J., Cempirek J., Groat L. A., Dipple G. M., Giuliani G. Origin of gem corundum in calcite marble: The Revelstoke occurrence in the Canadian Cordillera of British Columbia. *Lithos.* 2014. P. 198–199, 281–297. doi: 10.1016/j.lithos.2014.03.030
- Fagan A. J. The ruby and pink sapphire deposits of SW Greenland: Geological setting, genesis, and exploration techniques: PhD Thesis, University of British Columbia, Vancouver, BC, Canada, 2018.
- Fanka A., Suthirath C. Petrochemistry, mineral chemistry, and pressure-temperature model of corundum-bearing amphibolite from Montepuez, Mozambique. *Arab. J. Sci. Eng.* 2018. No. 43. P. 3751–3767. doi: 10.1007/s13369-018-3172-8
- Garde A., Marker M. Corundum crystals with blue-red color zoning near Kangerdluarssuk, Sukkertoppen district, West Greenland. *Rep. Gronl. Geol. Unders.* 1988. Vol. 140. P. 46–49.
- Garnier V., Giuliani G., Ohnenstetter D., Fallick A. E., Dubessy J., Banks D., Vinh H. Q., Lhomme T., Maluski H., Pêcher A., Bakhsh K. A., Long P. V., Trinh Ph. T., Schwarz D. Marble-hosted ruby deposits from central and Southeast Asia: Towards a new genetic model. *Ore Geol. Rev.* 2008. Vol. 34. P. 169–191. doi: 10.1016/j.oregeorev.2008.03.003
- Giuliani G., Groat L., Fallick A., Pignatelli I., Pardiou V. Ruby deposits: A review and geological classification. *Mineralogy and Geochemistry of Ruby. Minerals.* 2020. Vol. 10(7). Art. 597. doi: 10.3390/min10070597
- Giuliani G., Ohnenstetter D., Fallick A. E., Groat L., Fagan J. The geology and genesis of gem corundum deposits. *Geology of Gem Deposits.* Ed. L. A. Groat; Mineralogical Association of Canada: Tucson, AZ, USA, 2014. Short Course Series. Vol. 44. P. 29–112.
- Gübelin E. J. Die Edelsteinvorkommen Pakistans: Rubine aus dem Hunzatal. *Lapis.* 1982. Vol. 7, no. 5. P. 19–31. (In German)
- Hintze J. Safari ndjema – Afrikanisches Tagebuch (II): Rubin in Zoisit – ein Klassiker aus Longido in Tansania. *Lapis.* 2010. Vol. 35(12). P. 15–19. (In German).
- Iyer L. A. N. The geology and gemstones of the Mogok stone tract, Burma. *Memoirs of the Geology Survey of India.* 1953. Vol. 82. P. 7–100.
- Jons N., Schenk V. Relics of the Mozambique Ocean in the central East African Orogen: Evidence from the Vohibory Block of Southern Madagascar. *J. Metam. Geol.* 2008. Vol. 26. P. 17–28. doi: 10.1111/j.1525-1314.2007.00745.x
- Kanis J., Harding R. R. Gemstone prospects in central Nigeria. *J. Gemmol.* 1990. Vol. 22, no. 4. P. 195–202.
- Keulen N., Thomsen T. B., Schumacher J. C., Poulsen M. D., Kalvig P., Vennemann T., Salimi R. Formation, origin and geographic typing of corundum (ruby and pink sapphire) from the Fiskenasset complex, Greenland. *Lithos.* 2020. Vol. 366–367. Art. 105536. doi: 10.1016/j.lithos.2020.105536
- Key R. M., Ochieng J. O. The growth of rubies in south-east Kenya. *J. Gemmol.* 1991. Vol. 22. P. 484–496.
- Kiefert L., Schmetzer K. Blue and yellow sapphire from Kaduna Province, Nigeria. *J. Gemmol.* 1987. Vol. 20, no. 7/8. P. 427–442.
- Kröner A. Late Precambrian plate tectonics and orogeny: a need to redefine the term Pan-African. *Klerkx J., Michot J. (eds). African geology.* Musée Royal L'Afrique Centrale. Tervuren, Belgium, 1984. P. 23–28.
- Le Goff E., Deschamps Y., Guerrot C. Tectonic implications of new single zircon Pb-Pb evaporation data in the Lossogonoi and Longido ruby-districts, Mozambican metamorphic Belt of north-eastern Tanzania. *Comptes Rendus Geosci.* 2010. Vol. 342. P. 36–45. doi: 10.1016/j.crte.2009.10.003
- Mercier A., Debat P., Saul J. M. Exotic origin of the ruby deposits of the Mangari area in SE Kenya. *Ore Geol. Rev.* 1999. Vol. 14. P. 83–104. doi: 10.1016/S0169-1368(99)00002-5
- Okrusch M., Bunch T. E., Bank H. Paragenesis and petrogenesis of a corundum-bearing marble at Hunza (Kashmir). *Mineral. Depos.* 1976. Vol. 11. P. 278–297. doi: 10.1007/BF00203079
- Peretti A., Mullis J., Mouawad F. The role of fluoride in the formation of color zoning in rubies from Mong Hsu (Myanmar, Burma). *J. Gemmol.* 1996. Vol. 25. P. 3–19. doi: 10.15506/JoG.1996.25.1.3
- Polat A., Schersten A., Appel P. W. U., Frei R. New age (ca. 2970 Ma), mantle source composition and geodynamic constraints on the Archean Fiskenasset anorthosite complex, SW Greenland. *Chemical Geology.* 2010. Vol. 277(1). P. 1–20.
- Principais depositos minerales do Brasil. Vol. IV, pt. A. Brasilia, 1991. (In Portuguese)
- Rakotondrazafy A. F. M., Giuliani G., Ohnenstetter D., Fallick A. E. Gem corundum deposits of Madagascar: a review. *Ore Geol. Rev.* 2008. Vol. 34(1). P. 134–154.
- Saul J. M. A Geologist Speculates: On Gemstones, Origins of Gas and Oil, Moonlike Impact Scars on the Earth, the Emergence of Animals and Cancer. 2015. 160 p.
- Schwarz D., Pardiou V., Saul J. M., Schmetzer K., Laurs B. M., Giuliani G., Klemm L., Malsy A. K., Hauzenberger C., Du Toit G., Fallick A. E., Ohnenstetter D. Rubies and Sapphires from Winza, Central Tanzania. *Gems Gemol.* 2008. Vol. 44. P. 322–347. doi: 10.5741/GEMS.44.4.322
- Silva K. K. M. W., Siriwardena C. H. E. R. Geology and the origin of the corundum-bearing skarn at Bakamuna, Sri Lanka. *Mineralium Deposita.* 1988. Vol. 23, iss. 3. P. 186–190.
- Simonet C. Geologie des Gisements de Saphir et de Rubis. L'exemple de la John Saul Mine, Mangari, Kenya: PhD thesis. Nantes, France, 2000. (In French)
- Simonet C., Fritsch E., Lasnier B. A classification of gem corundum deposits aimed towards gem exploration. *Ore Geol. Rev.* 2008. Vol. 34. P. 127–133. doi: 10.1016/j.oregeorev.2007.09.002

Steven P., Youkovich S. Ruby mines of North Carolina. *Rocks and Miner.* 1985. Vol. 60, 2.

Tenthorey E. A., Ryan J. G., Snow E. A. Petrogenesis of sapphirine-bearing metatroctolites from the Buck Creek ultramafic body, southern Appalachians. *J. Metam. Geol.* 1996. Vol. 14. P. 103–114.

Wells A. J. Corundum from Ceylon. *Geol. Magazine.* 1956. Vol. 93, no. 1. P. 25–31.

Received September 27, 2021

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Барнов Николай Григорьевич

доцент, к. г.-м. н.
Горный институт НИТУ «МИСиС»
Ленинский пр., 4, Москва, Россия, 119991
эл. почта: barnov@inbox.ru

Щипцов Владимир Владимирович

заведующий отделом минерального сырья, д. г.-м. н.,
старший научный сотрудник
Институт геологии КарНЦ РАН,
Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр РАН»
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910

профессор каф. наук о Земле и геотехнологий
Института лесных, горных и строительных наук
Петрозаводский государственный университет
пр. Ленина, 33, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: vv.shchiptsov@gmail.com
тел.: +79216240981

CONTRIBUTORS:

Barnov, Nikolai

College of Mining, National University of Science
and Technology (NITU MISIS)
4 Leninskii Ave., 119991 Moscow, Russia
e-mail: barnov@inbox.ru

Shchiptsov, Vladimir

Institute of Geology, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia

Petrozavodsk State University
33 Lenin Ave., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: vv.shchiptsov@gmail.com
tel.: +79216240981