

Химический состав и Th-U-Pb датирование монацита из неогеновых редкометалльно-титановых россыпей Краснокутского месторождения (северный борт Днепровско-Донецкой впадины)

Чефранова А.В. , Чефранов Р.М., Борисовский С.Е.

ИГЕМ РАН, Москва, achefra@mail.ru

Аннотация. Осуществлена попытка использования особенностей химического состава детритового монацита для детализации осуществленных ранее палеогеографических построений времени формирования редкометалльно-титановых россыпей Краснокутского месторождения, расположенного в северном борту Днепровско-Донецкой впадины. В качестве основного инструмента определения особенностей состава зерен монацита и расчета времени его образования применен химический изохронный метод (CHIME-chemical Th-U-total Pb isochron method). Расчет времени образования монацита позволил выявить три четко выраженных возрастных тренда, отвечающих неоархею (2675 ± 54 Ma), палеопротерозою (1831 ± 56 Ma) и палеозою (449 ± 65 Ma). Детальный анализ состава исследованных зерен позволил предположить генетическую связь церий-лантан-неодимового монацита с метаморфическими породами, а церий-неодим-ториевого и церий-торий-неодимового монацита - с гранитоидами. Формирование монацита неоархейского возраста было связано с метаморфическими событиями, сопровождавшими заложение рифтовых структур в пределах Сарматии. Следующий всплеск образования монацита в палеопротерозое зафиксировал влияние метаморфического события, сопровождавшего магматический процесс во время этапа платформенной активизации Сарматии. Ближайшим источником палеопротерозойского монацита мог являться комплекс пород Ингульского дайкового поля, а также не исключено влияние и более удаленных Коросунь-Новодмитрогорских и Кировоградских комплексов пород. Палеозойский монацит был привнесен на исследуемую территорию в юрское время из области развития каледонид в пределах Волыно-Подольского блока Украинского щита и Прикарпатья в составе аллювия палео-Днепра, тальвег которого был приурочен к Днепровско-Донецкой рифтовой впадине.

Ключевые слова: монацит, питающие провинции, полтавские слои, Днепровско-Донецкая впадина.

Chemical composition and Th-U-Pb dating of monazite from the neogene rare-metal-titanium placers of the Krasnokutsk deposit (northern side of the Dnieper-Donetsk depression)

Chefranova A.V. , Chefranov R.M., Borisovskiy S.E.

IGEM RAS, Moscow, achefra@mail.ru

Abstract. An attempt was made to use the features of the chemical composition of detrital monazite to refine the earlier paleogeographic reconstructions of the time of formation of rare-metal-titanium placers of the Krasnokutsk deposit, located on the northern side of the Dnieper-Donetsk depression. The chemical isochron method (CHIME-chemical Th-U-total Pb isochron method) was used as the main tool for determining the composition of monazite grains and calculating the time of its formation. The calculation of the time of monazite formation made it possible to identify three distinct age trends corresponding to the Neoarchean (2675 ± 54 Ma), Paleoproterozoic (1831 ± 56 Ma) and Paleozoic (449 ± 65 Ma). A detailed analysis of the composition of the studied grains made it possible to suggest a genetic relationship between cerium-lanthanum-neodymium monazite and metamorphic rocks, and cerium-neodymium-thorium and cerium-thorium-neodymium monazite with granitoids. The formation of Neoarchean monazite was associated with metamorphic events that accompanied the initiation of rift structures within Sarmatia. The next surge in the formation of monazite in the Paleoproterozoic recorded the influence of a metamorphic event that accompanied the magmatic process during the platform activation stage of Sarmatia. The nearest source of Paleoproterozoic monazite could be the rock complex of the Ingul dike field, but the influence of the more distant Korosun-Novodmitrogor and Kirovograd rock complexes is also possible. Paleozoic monazite was brought to the study area in the Jurassic from the Caledonide distribution area within the Volyn-Podolsky block of the Ukrainian Shield and the Carpathian region in the Paleo-Dnieper alluvium, the thalweg of which was confined to the Dnieper-Donetsk rift basin.

Keywords: monazite, feeding provinces, Poltava layers, Dnieper-Donetsk depression.

Введение

Согласно геологическому словарю определение «редкометалльная россыпь» звучит как скопление рыхлого или сцементированного обломочного материала, содержащего в виде зерен, их обломков или агрегатов минералы тантала, ниобия, иттрия, редких земель, циркония и ванадия, в концентрациях, которые могут представлять промышленный интерес. Россыпь Краснокутского месторождения является редкометалльно-титановой, включающей циркон до 70 кг/м^3 (среднее 7.8 кг/м^3), титансодержащие минералы (ильменит, лейкоксен, рутил) до 134 кг/м^3 (среднее 18.2 кг/м^3), а также монацит, концентрация которого колеблется от 1 до 8 кг/м^3 .

Такие россыпеобразующие минералы как циркон, монацит и рутил помимо промышленной ценности являются важными минералами-индикаторами среды минералообразования, используются в качестве изотопных индикаторов роста земной коры, а также при детализации палеогеографических построений в качестве минералов-индикаторов питающих провинций. Датирование рутила и циркона требует применения методов лазерной абляции и масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (LA-ICP-MS), для монацита возможно химическое U-Th-Pb датирование методом РСМА, которое в большинстве случаев дает конкордантные U-Pb возраста (Вотяков и др., 2012). В результате датирования детритовый рутил фиксирует только последнее термальное событие, а возраст детритового циркона обычно смещен в сторону магматических событий. Циркон, в силу особенностей своей изотопной системы может продемонстрировать не только несколько этапов роста, но и не отобразить геологическое событие, не достигшее критической температуры для нарушения целостности его U-Th-Pb системы. При датировании монацита можно выявить несколько разновозрастных доменов роста, при этом он будет отражать информацию для широкого диапазона метаморфических условий (Williams et al., 2007). Главное отличие монацита от циркона и рутила заключается в его меньшей распространенности, ограниченной областями развития низкоглиноземистых, низкокальциевых магматических и метаморфических пород. Поэтому использование монацита в качестве минерала-индикатора питающих провинций в литологии может носить рекогносцировочный характер, либо применяться для уточнения уже существующих палеогеографических схем.

Геологическая характеристика района исследования

В тектоническом плане Краснокутская россыпь расположена в пределах субмеридиональной Богодуховской зеленокаменной структуры, ограниченной с запада и востока Богодуховским и Сковорониковским глубинными разломами, участвующими в строении архейско-нижнепротерозойского фундамента Белгородско-Сумского мегаблока северного борта Днепров-Донецкой впадины.

Стратиграфически Краснокутская россыпь приурочена к пескам средненовопетровской подсвиты нижнего миоцена (Ганжа и др., 2019), относящихся к ранее нерасчлененным полтавским слоям. Формирование россыпевмещающих осадочных толщ средненовопетровской подсвиты происходило в прибрежно-мелководной зоне замкнутого регрессирующего слабосоленого континентального водного бассейна, занимавшего прогиб Днепров-Донецкой впадины и смежные с прогибом площади Украинского щита (УЩ) и Воронежского кристаллического массива (ВКМ). Подстилающими россыпь отложениями являются гумусированные аллювиально-дельтовые пески (Ганжа и др., 2019). Таким образом формирование краснокутской россыпи происходило за счет естественного шлихования дельтовых отложений в условиях прибрежного мелководья регрессирующего бассейна.

Согласно палеогеографическим реконструкциям площадью водосбора палеореки, возможно Палео-Воркслы, к дельте которой приурочено россыпное месторождение, являлись возвышенные части северного борта Днепров-Донецкой впадины, отвечающие положительным структурам фундамента над Харьковской центрально-кольцевой структурой, гнейсогранитным куполам Белгородско-Сумского мегаблока и юго-западного склона ВКМ вплоть до Курского поднятия.

Минеральный состав рудного горизонта характерен для редкометалльно-титановых россыпей и довольно однообразен, хотя имеет свои особенности. В исследованном разрезе содержание рутила и циркона существенно выше, чем в других месторождениях провинции, охарактеризован-

ных в работах (Цимбал, Полканов, 1975). Наряду с основными рудными минералами присутствуют монацит, концентрация которого в прибрежно-морских песках достигает 1 кг/м^3 , а также ряд сопутствующих устойчивых к выветриванию и транспортировке тяжелых минералов. Минеральный состав весьма зрелый: на долю главных россыпеобразующих наиболее устойчивых при выветривании и переносе минералов (измененного ильменита– лейкоксена, рутила и циркона) приходится более 80 % веса тяжелой фракции. К второстепенным, содержащимся в количестве немногим более 1 % относятся монацит, ставролит, кианит, силлиманит, дистен и турмалин, еще реже встречаются анатаз, брукит, бадделеит, топаз. Неустойчивые минералы (эпидот, амфиболы, пироксены, хлорит и др.) оцениваются в знаковых количествах.

Монацит краснокутской россыпи относится к ассоциации ближнего сноса. Но на карте дочетвертичных отложений Днепровско-Донецкой впадины и юго-запада ВКМ выходы коренных магматических и метаморфических пород отсутствуют. Во время накопления как средненовопетровской свиты нижнего миоцена, так и полтавских слоев ближайших территорий размыву подвергались палеогеновые и меловые отложения.

Методика исследования

В рамках российско-украинского проекта РФФИ 14-05-90420 Укр-а и проекта РФФИ 18-05-00113 отобраны пробы из опорного разреза краснокутской россыпи. С помощью набора сит, пробы были разделены на гранулометрические классы. Разделение минералов на монофракции осуществлялось в зависимости от их удельного веса и магнитной восприимчивости в лаборатории анализа минерального вещества ИГЕМ РАН (г. Москва). Для исследования монофракции зерен монацита была изготовлена эпоксидная запрессовка. При выборе зерен для датирования учитывались их морфологические и микроанатомические особенности с целью охватить как можно больший диапазон предполагаемых генетических типов, вместе с тем не упуская из виду дальнейшие возможности статистического сравнения полученных результатов. Предпочтение отдавалось зернам без видимых дефектов, трещин и включений.

В качестве основного инструмента определения особенностей состава зерен монацита и расчета времени его образования применен химический изохронный метод (CHIME-chemical Th-U-total Pb isochron method) предложенный К. Сузуки (Suzuki, 1991). Анализ проведен в центре коллективного пользования «ИГЕМ-аналитика» на волновом микроанализаторе JXA8200 с пятью рентгеновскими спектрами. Выполнено 80 анализов состава 66 зерен (в том числе в их краевых и центральных зонах) на 15 компонентов матрицы (P_2O_5 , La_2O_3 , Ce_2O_3 , Pr_2O_3 , Nd_2O_3 , Sm_2O_3 , Y_2O_3 , ThO_2) и микрокомпонентов (CaO , UO_2 , PbO , FeO , MnO , SiO_2 , SO_3). Для ThO_2 , UO_2 и PbO подобраны особые условия анализа: ускоряющее напряжение 20 кВ, ток зонда 200 нА, кристалл-анализатор PET. Расчет возраста производился по результатам электронно-зондового определения Th, U, Pb методом CHIME.

Результаты

Зерна монацита Краснокутского месторождения прозрачные, бледного медово-желтого цвета, как правило хорошо окатаны. В отраженном свете поверхность зерен гладкая с жирным блеском. Преобладающая часть окатанных зерен монацита имеет шероховатую мелкоямчатую поверхность (рис. 1 б). В подчиненном количестве отмечены относительно гладкие зерна, в очертаниях которых угадывается облик короткостолбчатых кристаллов (рис. 1а: зерна в правом верхнем углу и в центре). Также в подчиненном количестве отмечены зерна неправильной формы средней степени окатанности. Поверхность монацита данного типа характеризуется мелкоямчатыми текстурами на поверхности положительных форм и гладкой поверхностью в отрицательных формах «рельефа» зерен (рис. 1 в). В единичных случаях отмечены осколки призматических кристаллов монацита с гладкой, реже трещиноватой поверхностью (рис. 1 в: зерно в центре слева).

Изучение BSE изображений высокого контраста полированных зерен монацита позволило установить признаки их внутреннего строения. В подавляющем большинстве оказались зерна без выраженных признаков зональности (52 %). В числе зерен этого типа присутствуют как окатанные, так и угловатые морфологические разновидности разной степени сохранности (рис. 2).

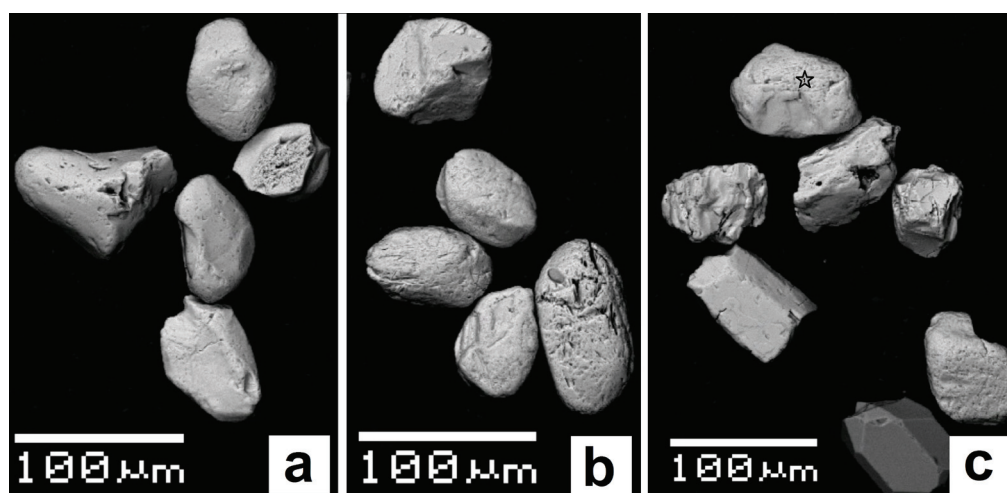


Рис. 1. Морфологические особенности детритового монацита Краснокутского месторождения: а – окатанные зерна с относительно гладкой поверхностью, б – окатанные зерна шероховатой мелкоямчатой поверхностью, с – зерна неправильной формы средней степени окатанности.

Fig. 1. Morphological features of detrital monazite from the Krasnokutsk deposit:
a – rounded grains with a relatively smooth surface, b – rounded grains with a rough finely pitted surface, c – irregularly shaped grains of medium roundness.

Следующим по распространённости являются признаки лоскутно-пятнистого строения (32 %). Зерна данного типа угловато-окатанные и отличаются неправильной формой. Также отмечены зерна с признаками зонального строения (16 %). Морфологически их можно охарактеризовать как окатанные и угловато-окатанные.

Расчет времени образования монацита с помощью химического Th-U-total Pb изохронного метода позволил выявить три четко выраженных возрастных тренда (рис. 3), отвечающих неогарху (2675 ± 54 Ma), палеопротерозою (1831 ± 56 Ma) и палеозою (449 ± 65 Ma). Датирование доменов роста 10 зерен монацита с зональным строением не выявило значимых отличий во времени их кристаллизации.

К неогархейскому возрастному тренду относятся четыре зерна монацита. Из них два относительно крупных окатанных зерна и два удлинённых угловато-окатанных. Внутренняя структура зерен не содержит выраженных признаков зональности, лишь одно зерно имеет темное церий-лантан-неодимовое ядро и широкую светлую церий-неодим-лантановую «кайму». В целом состав монацита данного кластера не обнаруживает контрастных вариаций основных компонентов (мас. %):

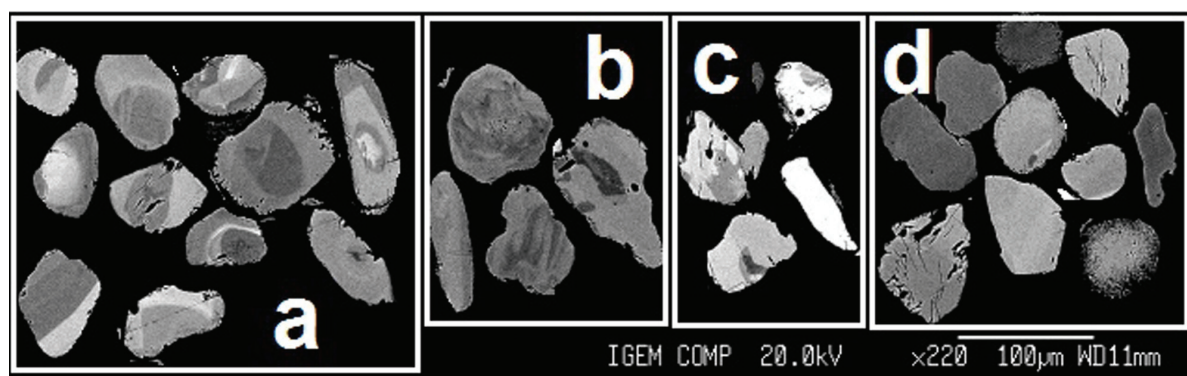


Рис. 2. Особенности внутреннего строения зерен монацита Краснокутского месторождения: а – признаки зонального строения, б – признаки лоскутно-пятнистой структуры, с – признаки лоскутно-пятнистой структуры у зерен с высоким контрастом, d – отсутствие выраженных признаков зональности.

Fig. 2. Features of the internal structure of monazite grains of the Krasnokutsk deposit:
a – signs of zonal structure, b – signs of patchy-spotted structure, c – signs of patchy-spotted structure in grains with high contrast, d – no clearly visible signs of zoning.

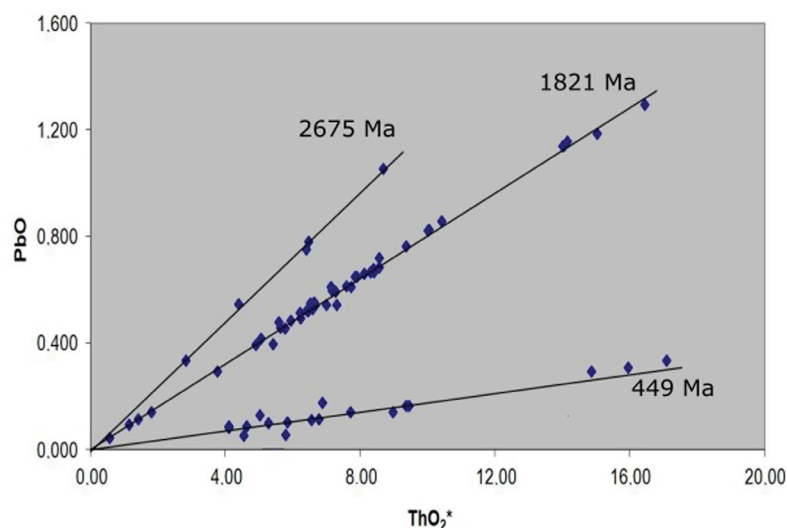


Рис. 3. Диаграмма распределения фигуративных точек состава детритового монацита Краснокутского месторождения в координатах PbO и ThO₂ (CHIME-chemical Th-U-total Pb isochron metod)

Fig. 3. Diagram of the distribution of figurative points of the composition of detrital monazite from the Krasnokutsk deposit in PbO and ThO₂ coordinates.

Ce₂O₃ (29.0–32.0), La₂O₃ (13.0–17.0), Nd₂O₃ (11.0–14.0), ThO₂ (2.2–6), P₂O₅ (27.6–28.6), Y₂O₃ (0.1–0.6), Pr₂O₃ (3.2–3.6), Sm₂O₃ (1.0–2.2), CaO (0.4–1.3), UO₂ (0.1–1.0), PbO (0.3–1.0), FeO (до 0.01), MnO (до 0.05), SiO₂ (0.1–0.5), SO₃ (до 0.07).

Подавляющее большинство исследованных зерен монацита (48 зерен) оказались в составе палеопротерозойского возрастного тренда. Зависимости между формой зерен, их внутренним строением и составом не обнаружено. Морфология и внутреннее строение соответствуют общей статистике, приведенной выше. Состав монацита палеопротерозойского возрастного тренда для большинства зерен можно охарактеризовать как церий-лантан-неодимовый, для 20 % зерен – как церий-неодим-лантановый и для 1 % зерен – как церий-неодим-ториевый. Монацит церий-лантан-неодимового состава отличается следующим набором основных компонентов (мас.%): Ce₂O₃ (27.0–33.0), La₂O₃ (12.0–17.0), Nd₂O₃ (11.0–13.5), ThO₂ (0.6–9.5), P₂O₅ (27.3–28.7), Y₂O₃ (0.04–0.6), Pr₂O₃ (3.0–4.0), Sm₂O₃ (1.2–2.3), CaO (до 1.4), UO₂ (0.1–1.0), PbO (0.1–0.9), FeO (до 0.01), MnO (до 0.05), SiO₂ (0.1–0.8), SO₃ (до 0.09). В некоторых случаях отмечаются повышенные концентрации Y₂O₃ (1,3–3,7 мас.%) иногда коррелирующие с пониженным содержанием Ce₂O₃ (до 26.8 мас. %), а также повышенные концентрации ThO₂ (до 9.4 мас. %), коррелирующие с повышенным содержанием CaO (до 2.0) и пониженным содержанием P₂O₅ (до 26.5 мас. %). В составе церий-неодим-лантанового монацита наблюдается аналогичный набор основных компонентов за исключением преобладания Nd₂O₃ (14.4–18.2 мас. %) над La₂O₃ (11.1–12.8 мас. %). Наиболее контрастно отличается состав церий-неодим-ториевого монацита, имеющего близкие значения расчетного возраста (1845–1853 Ma). Состав этих зерен отличается пониженным содержанием Ce₂O₃ (26.2–26.3 мас. %), La₂O₃ (9.3–9.5 мас. %), P₂O₅ (24.8–25.9 мас. %) и Y₂O₃ (0.01–0.05 мас. %), коррелирующих с повышенной концентрацией Nd₂O₃ (15.4–15.5 мас. %), ThO₂ (13.4–13.6 мас. %) и SiO₂ (2.1 мас. %).

Палеогеновый тренд представлен 14 зернами. Внешнее и внутреннее строение монацита данного возрастного тренда также не обнаруживает прямых зависимостей с составом и соответствует общей статистике. Особенностью состава палеогенового монацита является повышенное содержание Y₂O₃ (1–3.5 мас. %) по сравнению с монацитом других возрастных генераций. Самым высоким содержанием Y₂O₃ (до 3.2 мас. %) в палеогеновом тренде отличаются монациты, расчетный возраст которых условно соответствует ордовику. При этом состав монацита ордовикского возраста можно охарактеризовать как церий-торий-лантан-неодимовый, где наряду с повышенным содержанием ThO₂ (12.7–14.8 мас. %), Y₂O₃ (1.2–2.7 мас. %), SiO₂ (2.0–2.8 мас. %) отмечается пониженные концентрации Ce₂O₃ (24.8–25.2 мас. %), P₂O₅ (25.0–26.0 мас. %), La₂O₃ (11.0–13.0 мас. %)

и Nd_2O_3 (10.3–10.8 мас. %). Ниже приведен состав монацита палеогенового тренда без учета обогащенных торием монацитов (мас. %): Ce_2O_3 (26.0–29.7), La_2O_3 (12.0–16.6), Nd_2O_3 (11.0–13.0), ThO_2 (2.5–7.2), P_2O_5 (28.0–28.9), Y_2O_3 (0.8–3.5), Pr_2O_3 (2.8–3.4), Sm_2O_3 (1.5–2.7), CaO (0.6–1.6), UO_2 (0.1–1.2), PbO (до 0.3), FeO (до 0.02), MnO (до 0.03), SiO_2 (0.1–0.4), SO_3 (до 0.007).

Обсуждение результатов

Состав подавляющего числа проанализированных зерен детритового монацита Краснокутской россыпи по соотношению содержания главных компонентов церий-лантан-неодимовый. Лишь 20 % исследованных зерен, относящихся к палеопротерозойскому тренду, можно назвать церий-неодим-лантановыми за счет незначительного преобладания Nd_2O_3 над La_2O_3 . Сравнение концентрации входящих в состав монацита элементов в пределах возрастных трендов позволило выявить некоторые статистически значимые отличия (рис. 4). Среди наиболее выделяющихся отличий можно отметить последовательное увеличение концентрации Y_2O_3 и уменьшение концентрации Ce_2O_3

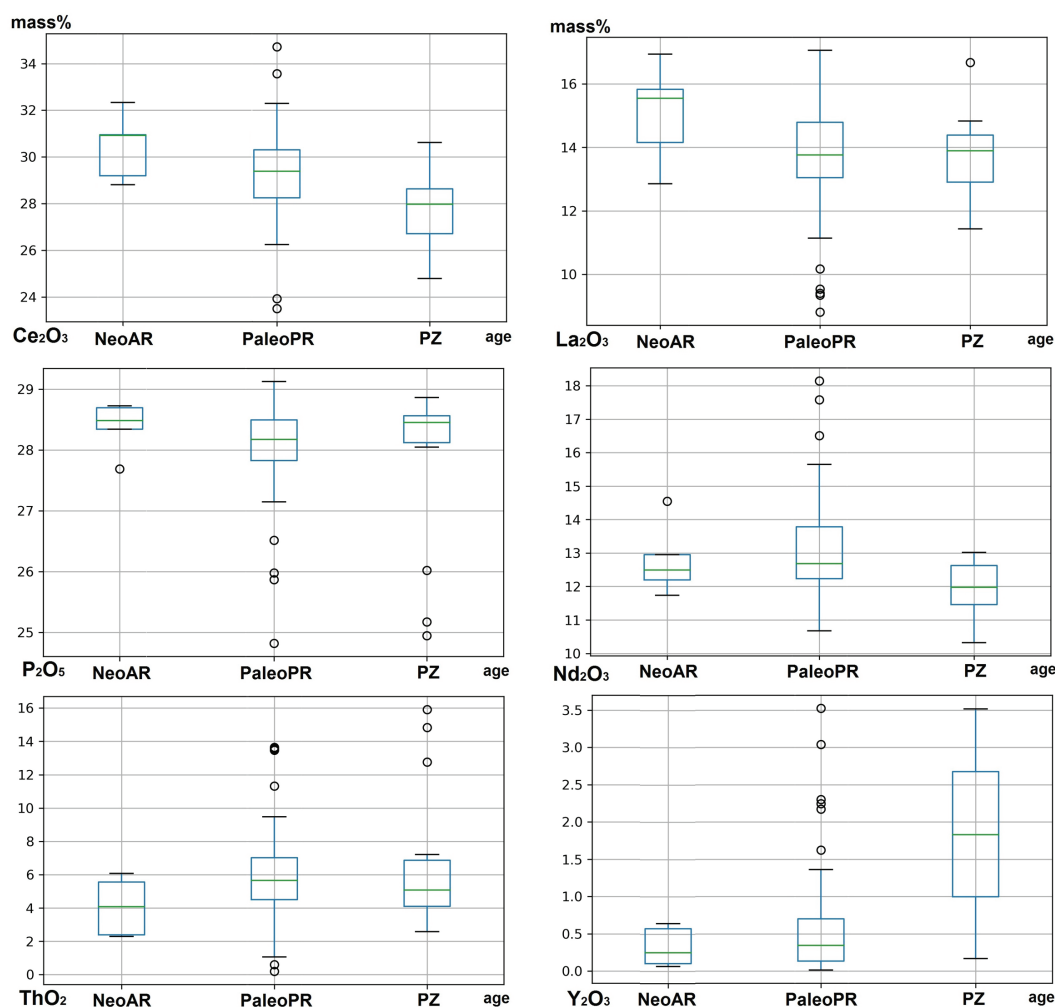


Рис. 4. Сравнение концентрации основных компонентов, входящих в состав детритового монацита неогархейского (NeoAR), палеопротерозойского (PaleoPR) и палеозойского (PZ) возраста из Краснокутского месторождения. Границами ящика служат первый и третий квартили (25-й и 75-й процентиля соответственно), линия в середине ящика – медиана (50-й процентиль). Концы усов – края статистически значимой выборки для случая нормального распределения данных. Точки – значения экстремальных концентраций.

Fig. 4. Comparison of the main components of detrital monazite of the Neoproterozoic (NeoAR), Paleoproterozoic (PaleoPR), and Paleozoic (PZ) detrital monazite from the Krasnokutsk deposit. The borders of the box are the first and third quartiles (25th and 75th percentiles, respectively), the line in the middle of the box is the median (50th percentile). The ends of the whiskers are the edges of a statistically significant sample data sampling for the case of a normal data distribution. Points are the values of extreme concentrations.

в составе монацита начиная от неоархейского тренда к палеозойскому. Отличия содержания Y_2O_3 в составе монацита неоархейского и палеопротерозойского тренда в пределах 0.5–1 мас. %, на первый взгляд кажутся несущественными, и все же у последнего в пределах нормальной выборки наблюдается тенденция к увеличению максимальной концентрации (рис. 4). Также в составе монацита палеопротерозойского тренда можно предполагать присутствие второго распределения, отвечающего точкам экстремальных содержаний Y_2O_3 , фиксирующего изменения среды минералообразования.

Увеличение концентрации иттрия в составе монацита, как правило, связывается с относительным временем распада граната в условиях проградного метаморфизма, особенно вблизи изограны ставролита, так как реакция роста монацита соответствует разрушению граната (Pyle & Spear, 1999; Zhu & O'Nions, 1999; Pyle et al., 2001; Yang, Rivers, 2002). Таким образом, появление в краснокутской россыпи обогащенного иттрием монацита скорее указывает на динамику среды минералообразования, в частности на особенности метаморфических реакций, нежели на полигенность питающей провинции.

Еще одним элементом, позволяющим судить о происхождении монацита, является торий. Поведение тория в составе церий-неодим-ториевого и единичных зерен церий-лантан-неодимового монацита палеопротерозойского возрастного тренда соответствует двум реакциям: $P^{5+} + REE^{3+} \leftrightarrow Si^{4+} + Th^{4+}$ и $2REE^{3+} \leftrightarrow Ca^{2+} + Th^{4+}$, характерным для монацита из гранитоидов (Schaltegger et al., 2005; Williams et al., 2007). При этом похожая реакция наблюдается и у монацита церий-торий-лантан-неодимового состава палеозойского возрастного тренда с попутной повышенной концентрацией иттрия.

Несмотря на выявленные особенности состава детритового монацита краснокутской россыпи можно лишь предполагать в каких условиях происходило его образование. По аналогии с составом монацита палеопротерозойского и архейского возраста из метаморфических комплексов ВКМ (Савко и др., 2010; Савко и др., 2011; Пилюгин, Конилов, 2013), можно судить о том, что большая часть исследуемых зерен церий-лантан-неодимового монацита была образована в условиях амфиболитовой фации метаморфизма. Рост концентрации Y_2O_3 до 3.5 мас. % фиксирует условия более высоких ступеней метаморфизма, как, например, при образовании кордиерит-силлиманит-ганатовых гнейсов воронцовской серии ВКМ (Савко и др., 2011). В составе монацита метаморфических пород воронцовской серии концентрация ThO_2 не превышает 3.6 мас. % в кордиерит-силлиманит-ганатовых гнейсах и 2.6 мас. % в гранат-мусковит-силлиманитовых гнейсах. По аналогии с составом монацита из указанных пород можно сделать вывод, что концентрация тория в метаморфическом монаците палеопротерозойского и палеогенового возрастного тренда из краснокутской россыпи является в целом повышенной и может быть связана как с высокими степенями метаморфизма, так и с образованием и распадом сопутствующих минералов, концентраторов тория и REE. Вместе с тем можно предполагать, что кристаллизация церий-торий-неодимового монацита генетически связана с гранитоидами.

Расчет времени образования монацита, приуроченного к неоархейскому и палеопротерозойскому возрастному тренду, позволяет соотнести его с эпизодами роста континентальной коры УЩ и ВКМ в составе Сарматии. Неоархейский тренд образования монацита совпадает по времени с коровым этапом развития Сарматии, сопровождавшимся заложением континентальных рифтовых структур, метаморфизмом, вулканизмом, а также локальным проявлением внутримантийного магматизма в пределах Курского блока ВКМ (вулcano-плутоническая ассоциация риолитов и гранитов) и УЩ (чарнокит-плагิโอгранит-гранодиоритовые тетиевский, токмакский, шевченковский, обиточненский комплексы). Формирование монацита палеопротерозойского возрастного тренда скорее всего связано с этапом платформенной активизации на рубеже 1950–1750 млн лет сопровождавшейся внедрением интрузивных траппов смородинского комплекса ВКМ (Савко и др., 2017), и гранитов осинского, пержанского, октябрьского и коростенского комплексов УЩ (Щербаков, 2005). Отдельного внимания заслуживает область развития Ингульского дайкового поля в зоне растяжения Волюно-Подольского и Среднеприднепровского блоков, возраст пород которых, датированных калий-аргоновым методом,

колеблется от 1600 до 1800 млн лет (Палеовулканизм..., 1984). Образование Ингульского дайкового поля синхронно с формированием коростенского комплекса и очевидно приурочено к разломам, возникшим в период внедрения интрузий Корсунь-Новодмитрогорского плутона.

Появление в Краснокутской россыпи монацита палеозойского возрастного тренда, соответствующего каледонскому этапу орогенеза, вероятно связано событиями этого времени на границе Волыно-Подольского блока УЩ и каледонид Прикарпатья. Вероятнее всего палеозойский монацит был привнесен на территорию Днепров-Донецкой впадины в юрское время из области развития каледонид в Прикарпатье в составе аллювия палеореки, сток которой был направлен в сторону Прикаспийского прогиба через всю территорию УЩ с северо-запада на юго-восток.

Заключение

Исследования монацита краснокутской россыпи позволило выявить два возрастных тренда его формирования, соотносящихся с двумя этапами корообразования Сарматии, а также зафиксировать каледонское событие, затронувшее западную часть Украинского щита.

Формирование детритового монацита из краснокутской россыпи в неогархее было связано с метаморфическими событиями, сопровождавшими заложение рифтовых структур в пределах Сарматии. Следующий всплеск образования монацита в палеопротерозое зафиксировал влияние метаморфического события, вероятно сопровождавшего магматический процесс во время этапа платформенной активизации Сарматии. Скорее всего, источником палеопротерозойского монацита краснокутской россыпи являлись расположенные на относительно небольшом расстоянии магматические и метаморфические породы в области развития Ингульского дайкового поля в зоне растяжения Волыно-Подольского и Среднеприднепровского блоков, а также не исключено влияние и более удаленных Корсунь-Новодмитрогорских и Кировоградских комплексов пород.

Несмотря на то, что коренные выходы пород фундамента УЩ и ВКМ начиная юрского времени, а в пределах Днепров-Донецкой впадины с девона, уже не выходили на дневную поверхность, продукты их разрушения могли участвовать в нескольких циклах осадкообразования. Особенно их влияние должно было сказываться в эпохи крупных регрессий, связанных с тектоническими событиями, затрагивающими граничащие с УЩ и ВКМ области. Наиболее крупные регрессии, сопровождавшиеся значительными переуглублениями речных долин, приуроченных к зонам глубинных разломов фундамента, на исследуемой территории происходили в домеловое время, в палеогене и в конце олигоцена. Появление в неогеновых россыпях северного борта Днепров-Донецкой впадины монацита палеозойского возраста, позволяет предполагать на одном из этапов осадкообразования поступления осадочного материала из наиболее гипсометрически возвышенного Волыно-Подольского блока УЩ, являющегося и в настоящее время основной областью водосбора Днепра. Известно, что тальвег Палео-Днепра во время предмеловой регрессии был приурочен к Днепров-Донецкой рифтовой впадине. В этом случае находит объяснение присутствие в нижнеогеновых отложениях Белгородско-Сумского блока не только монацита палеозойского возраста из Волыно-Подольского блока, но и подавляющего большинства зерен палеопротерозойского монацита из Ингуло-Ингулецкого блока, расположенного значительно ближе к области развития россыпей.

Работа выполнена в рамках темы госзадания ИГЕМ РАН.

Литература

1. Альбеков А.Ю., Рыборак М.В., Бойко П.С. Реперное U-Pb изотопное датирование палеопротерозойских габброидных формаций Курского блока Сарматии (Воронежский кристаллический массив) // Вестник ВГУ. Серия: Геология. 2012. № 2. С. 84–94.
2. Вотяков С.Л., Щапова Ю.В., Хиллер В.В. Спектроскопия и физика монацита: состояние и перспективы использования в решении геохронологических проблем Урала // Литосера. 2012. № 4. С. 158–172.
3. Ганжа Е.А., Лаломов А.В., Чефранова А.В., Григорьева А.В., Магазина Л.О. Структурно-литологическая геолого-генетическая модель и минеральный состав Краснокутского редкометалльно-титанового россыпного месторождения (Украина) // Литология и полезные ископаемые. 2019. № 6. С. 540–556. <https://doi.org/10.31857/S0024-497X20196540-556>.

4. Пилюгин С.М., Конилов А.Н. Иттриевые монациты Курско-Бесединского гранулитового блока Воронежского кристаллического массива: тетрад эффект фракционирования редкоземельных элементов в метасадочных породах // Вестник ВГУ. Серия: Геология. 2013. № 1. С. 117–126.
5. Савченко Н.А., Бернадская Л.Г., Бутурлинов Н.Г. и др. Палеовулканизм Украины. Киев: Наукова думка, 1984. 252 с.
6. Савко К.А., Котов А.Б., Сальников Е.Б., Кориш Е.Х., Пилюгин С.М., Артеменко Г.В., Кориковский С.П. Возраст метаморфизма гранулитов комплексов Воронежского кристаллического массива: результаты геохронологических U-Pb исследований монацита // ДАН. 2010. Т. 435. № 5. С. 647–652.
7. Савко К.В., Самсонов А.В., Холин В.М., Базиков Н.С. Мегаблок Сарматия как осколок суперкратона Ваалбара: корреляция геологических событий на границе архея и палеопротерозоя // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2017. Т. 25. № 2. С. 3–26.
8. Савко К.А., Хиллер В.В., Базиков Н.С., Вотяков С.Л. Химическое микрозондовое Th-U-Pb датирование монацитов из метаморфических пород Воронцовской серии, Воронежский кристаллический массив // Ежегодник-2010. Тр. ИГГ УроРАН. Вып. 158. 2011. С. 218–224.
9. Цымбал С.Н., Полканов Ю.А. Минералогия титано-циркониевых россыпей Украины. Киев: Наукова думка, 1975. 248 с.
10. Щербakov И.Б. Петрология Украинского щита. Львов: ЗУКЦ, 2005. 366 с.
11. Pyle JM, Spear FS. Yttrium zoning in garnet: coupling of major and accessory phases during metamorphic reactions // Geol. Mat. Res. 1999. V.1. P. 1–49.
12. Pyle JM, Spear FS, Rudnick RL, McDonough WF. Monazite-xenotime-garnet equilibrium in metapelites and a new monazite-garnet thermometer // J. Petrol. 2001. 42:2083–107.
13. Schaltegger U, Pettke T, Audetat A, Reusser E, Heinrich CA. Magmatic-to-hydrothermal crystallization in the W-Sn mineralized Mole Granite (NSW, Australia): part I: crystallization of zircon and REE-phosphates over three million years—a geochemical and U-Pb geochronological study // Chem. Geol. 2005. 220:215.
14. Szuki K. and Adachi M. Precambrian provenance and Silurian metamorphism of the Tsubonosawa paragneiss in the South Kitakamiterrane, Northeast Japan, revealed by the chemical Th-U-total Pb isochron ages of monazite, zircon and xenotime // Geochemical Journal. 1991. V. 25. P. 357–376.
15. Williams M.L., Jercinovic M.J., Hetherington C.J. Microprobe monazite geochronology: understanding geologic processes by integrating composition and chronology // Annu. Rev. Earth Planet. Sci. 2007. 35:137–175.
16. Yang P, Rivers T. The origin of Mn and Y annuli in garnet and the thermal dependence of P in garnet and Y in apatite in calc-pelite and pelite, Gagnon terrane, western Labrador // Geol. Matter. Res. 2002. 4:1–35.
17. Zhu XK, O’Nions RK. Monazite chemical composition; some implications for monazite geochronology // Contribut. Mineral. Petrol. 1999. 137:351–63.