

УДК 553.068.56

ИСТОЧНИКИ НЕОГЕНОВЫХ РЕДКОМЕТАЛЛЬНО-ТИТАНОВЫХ РОССЫПЕЙ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО БОРТА ДНЕПРОВСКО-ДОНЕЦКОЙ ВПАДИНЫ: ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ U-Pb ГЕОХРОНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДЕТРИТОВОГО ЦИРКОНА

© 2024 г. А. В. Чефранова^{1,*}, К. Г. Ерофеева^{1,2}, А. С. Дубенский²

Представлено академиком РАН Н.С. Бортниковым 22.02.2024

Поступило 22.02.2024

После доработки 24.02.2024 г.

Принято к публикации 27.02.2024 г.

Снос терригенного материала, участвующего в строении неогеновых редкометалльно-титановых россыпей северо-восточного борта Днепровско-Донецкой впадины (ДДВ) определен с помощью литологических и минералогических методов, включая U–Pb геохронологическое и химическое исследование детритового циркона. Особенности ассоциации акцессорных минералов тяжелой фракции россыпей, морфология отдельных зерен, а также обедненность большей части популяции циркона U, Th, Y, Yb указывают, на то, что источником являлись коры химического выветривания, развитые предположительно по метаморфическим породам протерозойского (70%) и неоархейского (15%) возраста. Присутствие кристаллов циркона палеозойского U–Pb возраста с повышенным содержанием U, Th, Y, Yb, свидетельствует о разрушении магматических пород неопротерозойских-раннепалеозойских трапповых формаций, девонских изверженных и вулканогенно-осадочных образований ДДВ. Вовлечению обломков вышеперечисленных пород в осадочный рециклинг способствовало развитие соляной тектоники, широко проявленной в пределах ДДВ.

Ключевые слова: детритовый циркон, U–Pb датирование, редкометалльно-титановые россыпи, полтавские пески, Днепровско-Донецкая впадина

DOI: 10.31857/S2686739724060094

В Днепровско-Донецкой впадине (ДДВ) располагается крупная провинция редкометалльно-титановых россыпей, приуроченная к областям развития олигоцен-миоценовых осадочных пород (полтавская серия). Условно россыпи образуют две зоны, одна из которых прослеживается на западном борту ДДВ, а вторая – на северо-восточном. Несмотря на схожие литологические особенности в строении и условия залегания рудных залежей в обеих зонах, имеется ряд различий в геологическом строении и источниках питания, определяющих специфический характер редкометалльно-титановой минерализации россыпей ДДВ.

Россыпи западного борта ДДВ (Среднеприднепровского россыпного района), к которым относится ряд крупных месторождений, таких как Малышевское (Самотканское), Тарасовское, Волчанское и др. являются наиболее изученными. В качестве первичных источников рудных минералов (рутила, аризонита, циркона, ильменита, монацита) этих россыпей предполагаются переотложенные продукты разрушения вулканогенно-осадочных пород криворожской и ингулецкой серий докембрия [5, 7].

Россыпи северо-восточного борта ДДВ (Днепровско-Донецкий россыпной район), к которым принадлежат Краснокутское, Богодуховское, Мерчикское и др. месторождения, изучены менее детально. Их развитие приурочено к полосе прибрежно-морских отложений раннемиоценового (среднеполтавского) бассейна на участке Ахтырка–Краснокутск–Богодухов–Мерчик–Новая Водолага (рис. 1 б) [3, 7]. Формирование подавляющего

¹Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук, Москва, Россия

²Геологический институт Российской академии наук, Москва, Россия

*E-mail: achefra@mail.ru

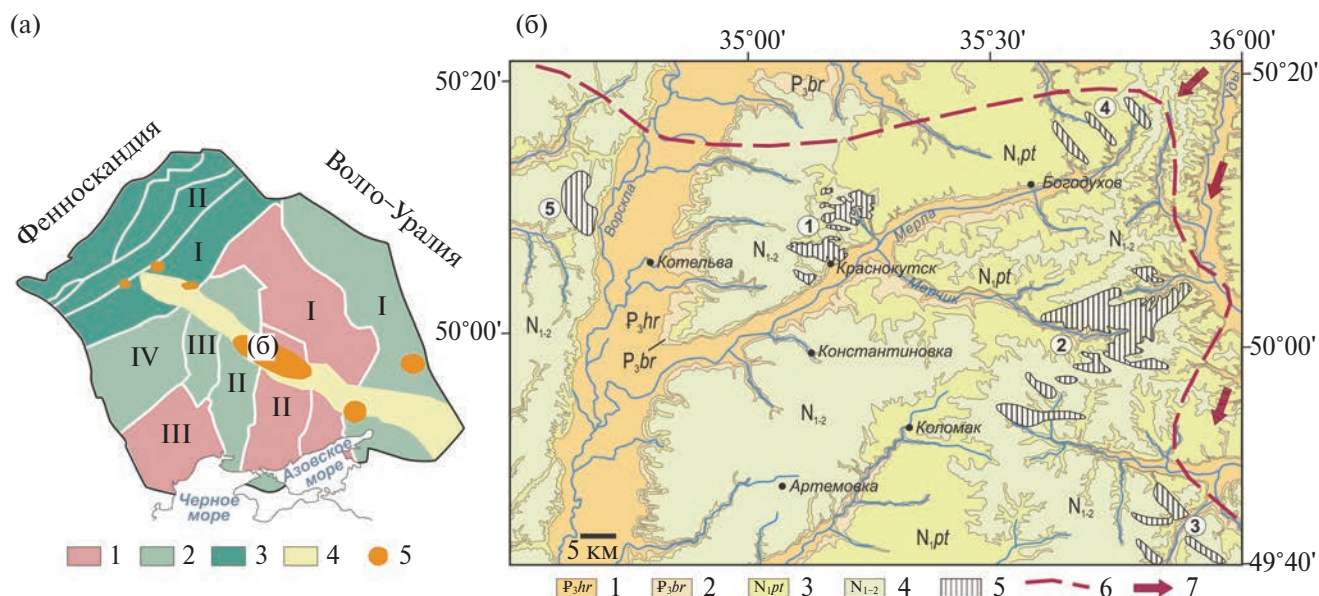


Рис. 1. Карта-схема тектонического расположения (а) и геологического строения (б) Днепровско-Донецкого россыпного района с элементами палеогеографии нижне-миоценового времени. **а.** Блоки фундамента Сарматии [по 11, 14]: 1 — архейского возраста: I — Курский, II — Сумско-Приднепровский, III — Подольский; 2 — палеопротерозойского возраста 2.2–2.0 млрд л.: I — Восточно-Сарматский ороген, II — Ингульско-Севский, III — Росинско-Тичикский, IV — Волынский; 3 — палеопротерозойского возраста 2.0–1.9 млрд л.: I — Осинско-Микашеский магматический пояс, II — Центрально-Белорусская шовная зона; 3 — Припятско-Днепровско-Донецкий авлакоген; 5 — области развития девонского магматизма; **б:** 1 — харьковская свита, палеоген; 2 — берекская свита, палеоген; 3 — полтавская свита (новопетровская свита), нижний миоцен; 4 — верхний миоцен-нижний плиоцен; 5 — направление сноса титановых и циркониевых минералов; 6 — положение береговой линии в результате трансгрессии Субпаратетиса; 7 — контуры месторождений; 8 — месторождения редкометалльно-титановых руд (1 — Краснокутское, 2 — Мерчикское, 3 — Нововодолажское, 4 — Богодуховское, 5 — Куземинское).

большинства россыпей этой зоны связано с обогащением тяжелыми минералами дельтовых отложений в гидродинамически благоприятных условиях регрессирующего внутриконтинентального бассейна. Площадью водосбора палеорек, к дельтовым отложениям которых приурочены россыпи, являлись возвышенные участки северного борта ДДВ и юго-западного склона Воронежского кристаллического массива (ВКМ).

Целью данного исследования является решение фундаментальной проблемы, связанной с определением питающих провинций неогеновых редкометалльно-титановых россыпей северо-восточного борта ДДВ, влияние которых можно рассматривать в качестве одного из рудоуправляющих факторов. В качестве объекта исследования выбрано Краснокутское месторождение, опробованное сотрудниками ИГЕМ РАН в 2012 году.

В тектоническом плане краснокутская россыпь находится в пределах субмеридиональной Богодуховской зеленокаменной структуры, ограниченной с запада и востока двумя линейными

зонами тектонической активизации (Богодуховской и Сковородниковской), участвующими в строении архейско-нижнепротерозойского фундамента Сумско-Приднепровского блока северо-восточного борта ДДВ (рис. 1 а).

Россыпь приурочена к мономинеральным кварцевым пескам средненовопетровской подсвиты нижнего миоцена [3], относящихся к раннее нерасчлененным полтавским слоям. Подстилающими россыпь отложениями являются гумусированные аллювиально-дельтовые пески.

Месторождение представляет собой группу россыпных тел, состав и строение которых определяются юго-западной ориентировкой аллювиально-дельтового комплекса, являющегося источником россыпеобразующих компонентов, и регрессивной серией береговых линий, имевших северо-западное простирание [3]. Продуктивные отложения состоят из прослоев и линз мелкозернистых кварцевых песков с разной концентрацией тяжелых минералов. Разрез залежи представлен одним, реже несколькими рудными телами, разделенными песками

с некондиционным содержанием тяжелой фракции. Количество рудных прослоек и линз уменьшается с северо-востока на юго-запад. Мощность россыпи увеличивается от ее периферии к центру.

Отобранные по разрезу пробы, показали следующие величины содержания минералов тяжелой фракции: в отложениях аллювиально-дельтового комплекса — 15.5 кг/м³, прибрежно-морского — 112 кг/м³ и эолового — 55.1 кг/м³, при этом суммарное содержание рудных минералов (ильменита, рутила, циркона и лейкоксена) в тяжелой фракции — 85–90%. Медианный размер зерен минералов тяжелой фракции 0.1–0.063 мм.

В минеральном составе рудного горизонта (прибрежно-морского комплекса) совместно с основными полезными минералами (измененный ильменит — лейкоксен, рутил и циркон) присутствует монацит, концентрация которого в прибрежно-морских песках достигает 1 кг/м³, а также ряд сопутствующих устойчивых к выветриванию тяжелых минералов (эпидот, ставролит, силлиманит, кианит и турмалин, реже анатаз, брукит, бадделит, муассанит, корунд, топаз). Неустойчивые минералы (амфиболы, пироксены, хлорит и др.) оцениваются в знаковых количествах.

Особенности минерального состава продуктивных отложений исследуемых россыпей в общих чертах являются унаследованными от подстилающих палеогеновых песков харьковской, бучакской и каневской свит, что подтверждается наличием в палеогеновых аллювиальных песках верхнего течения рр. Воркслы и Псла наряду с рудными минералами (ильменит, лейкоксен, рутил, циркон), специфических акцессорных минералов, таких как алмаз, муассанит, корунд, топаз, сподумен и др. [7], присутствующих также в полтавских россыпях.

Для достижения цели использован комплекс литологических и минералогических методов изучения тяжелой фракции россыпей, включающий химическое и U–Pb геохронологическое исследования детритового циркона.

Исследование морфологических и микростроения особенностей строения детритового циркона проводилось в приполированной эпоксидной запрессовке. Элементный состав циркона определялся в ИГЕМ РАН (г. Москва, аналитик С.Е. Борисовский) методом рентгеноспектрального микроанализа (РСМА) на рентгеновском микроанализаторе JEOL JXA-8200, оснащенный пятью волновыми и одним

энерго-дисперсионным спектрометрами. Список определяемых элементов, пределы обнаружения, используемые стандарты и другие условия съемки приведены в работах [2, 8].

Изотопное U–Pb датирование зерен циркона (LA-ICP-MS) выполнено в Лаборатории химико-аналитических исследований ГИН РАН. Примененные этапы пробоподготовки, описание аппаратуры, а также технология измерений, методические приемы и константы, используемые для обработки первичных аналитических данных, приведены в работах [1, 8]. Обработка аналитических результатов выполнена в программах “GLITTER” [12] и Isoplot/Ex. Для количественного сопоставления полученных наборов возрастов циркона из проб применен тест Колмогорова–Смирнова (KS-тест) с использованием программы [13].

Анализ морфологических особенностей минералов тяжелой фракции позволяет наряду с окатанными зернами диагностировать кристаллы и их осколки в составе популяции рутила и турмалина (25 % — кристаллы), монацита, ставролита и кианита (15 % — осколки), циркона (10 % — кристаллы и осколки). Из чего можно заключить, что на относительно небольшом расстоянии должны находиться коренные источники метаморфических минералов (рутила, турмалина, ставролита, кианита), а также источники циркона и монацита.

В краснокутской россыпи преобладают окатанные зерна циркона изометричного, реже удлиненно-призматического облика, а также зерна неправильной формы и осколки кристаллов с различной степенью окатанности (рис. 2 а). Для всей популяции циркона характерны признаки глубокого нарушения первичной зональности вплоть до практически полной гомогенизации, лоскутная зональность, а также присутствие зерен с широкими каймами (ESM_1).

Химический состав циркона краснокутской россыпи обеднен элементами-примесями. В первую очередь обращает на себя внимание относительно низкое содержание U (100–350 ppm) и Th (30–150 ppm) со значением Th/U отношения 0.2–1.0. Также для большинства проанализированных зерен циркона отмечается невысокая концентрация Y (300–700 ppm) и Yb (30–150 ppm) и только у 10 % зерен, содержание Y достигает 1000–2000 ppm, а Yb — 200–600 ppm (ESM_2). Сочетание признаков глубокого нарушения первичной зональности с обедненным элементами-примесями составом, может указывать на принадлежность исследуемого циркона

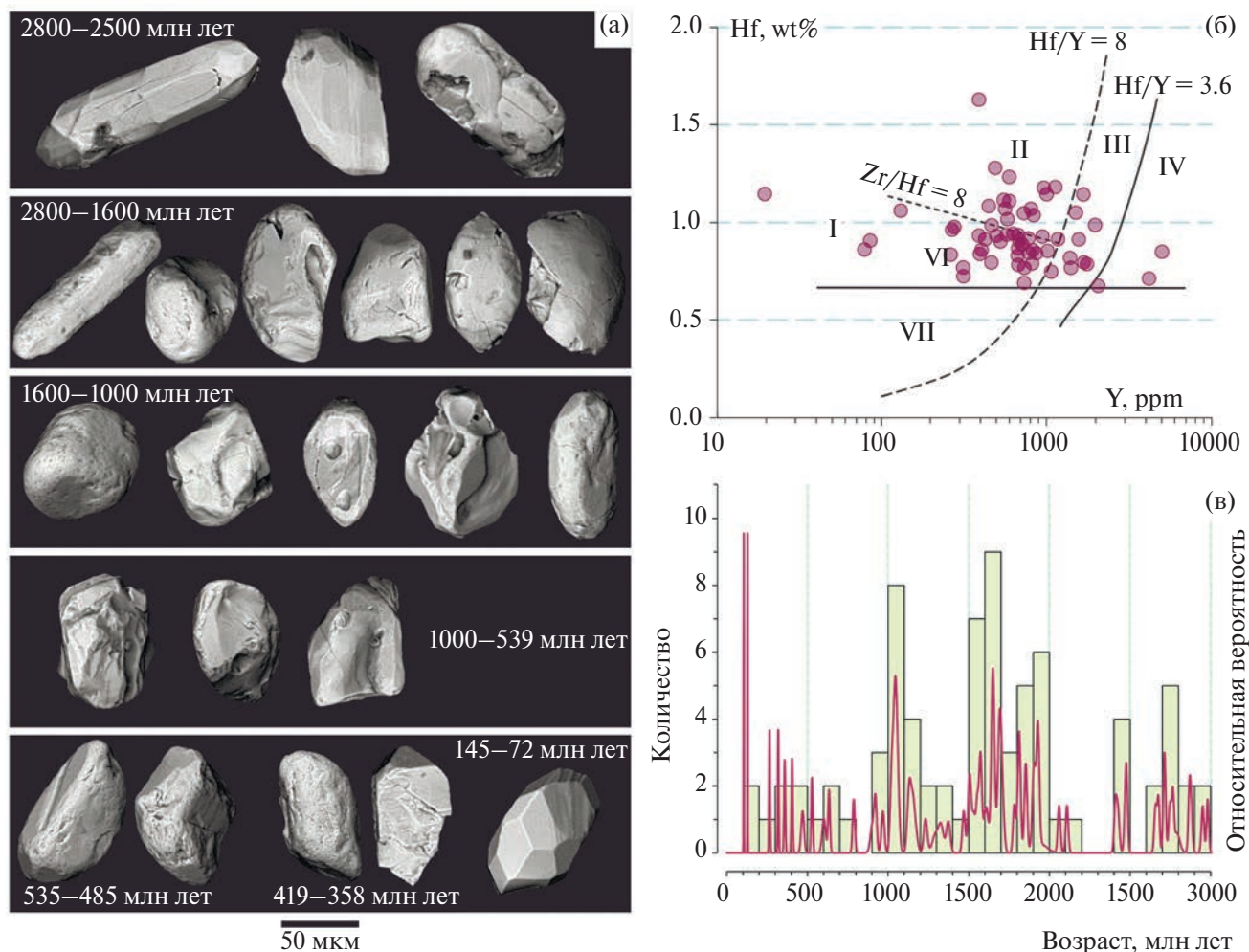


Рис. 2. а. Морфологические особенности циркона Краснокутского месторождения с учетом выделенных возрастных кластеров; б. Диаграмма содержания Y–Hf в цирконе Краснокутского месторождения по Belousova et al. [10]: I – кимберлиты, II – ультраосновные, основные и породы среднего состава, III – кварцсодержащие средние породы и породы кислого состава, IV – кислые породы с высоким содержанием кремнезема, VI – щелочные породы и щелочные метасоматиты щелочных комплексов, VII – карбонатиты; в. Результаты U–Pb датирования 97 зерен детритового циркона Краснокутского месторождения редкометалльно-титановых россыпей.

к полиметаморфическим комплексам. При этом Hf/Y отношение в его составе (рис. 2 б) косвенно свидетельствует о том, что в качестве протолита могли выступать магматические комплексы толеитовых и щелочных серий.

При U–Pb датировании 101 зерна циркона из россыпей Краснокутского месторождения, для 78 зерен получены оценки возраста (рис. 2 в; ESM_3) с приемлемым уровнем дискордантности ($-2\% < D < 2\%$). Наибольшим распространением пользуются зерна циркона с палеопротерозойским (32 %) и мезопротерозойским U–Pb возрастом (20 %), в то время как циркон с более древними неархейскими и более молодыми неопротерозойскими (рифей-вендскими) и

палеозойскими U–Pb возрастами имеет одинаковую частоту встречаемости (по 15% в каждом возрастном кластере).

В морфологии детритового циркона краснокутской россыпи прослеживается последовательная деградация его форм во времени: от призматических и овальных зерен неархейского и палеопротерозойского возраста к регенерированным фрагментам зерен неопротерозойского возраста (рис. 2 а). Единичные ограненные кристаллы циркона имеют палеозойский U–Pb возраст.

В результате изучения минеральной ассоциации, химического состава и U–Pb возраста

детритового циркона из краснокутской россыпи можно сделать следующие выводы:

– резкое преобладание устойчивых к химическому и физико-механическому выветриванию минералов в составе тяжелой фракции россыпей позволяет предполагать, что в качестве источников выступали коры химического выветривания;

– присутствие в россыпной ассоциации целых кристаллов и их осколков указывает на наличие проксимального источника;

– результаты изучения строения и химического состава циркона дают основания полагать, что в качестве его источников выступали полиметаморфические (90% исследованной популяции) и магматические (10%, кристаллы и их обломки с палеозойскими возрастом, относительно обогащенные Y, Yb, U и Th) комплексы пород.

Обобщая вышесказанное, можно прийти к выводу, что большая часть терригенного материала имела своим источником переотложенные коры химического выветривания, развитые по метаморфическим породам неогарейского и протерозойского возраста, в то время как порядка 10 % материала поступало из кор химического выветривания, развитым по магматическим породам палеозойского возраста, расположенных на относительно небольшом расстоянии. В связи с этим территория поиска первичных источников кластогенных минералов как для полтавских россыпей, так и для палеогеновых песков северо-восточного борта ДДВ ограничивается ближайшими тектоническими структурами.

В этом случае, анализ полученных финанс-сигналов циркона может иметь следующие привязки. Неогарейские (2900–2600 млн л.) и палеопротерозойские (2470–1600 млн л.) U–Pb датировки циркона отвечают возрасту магматических и метаморфических событий, сопровождающих основные этапы корообразования Сарматии. Вероятно, мезопротерозойский U–Pb возраст (1590–1100 млн л.) циркона генетически связан с геологическими событиями, которые привели к формированию дайкового пояса Ингульско-Севского блока [9]. Детритовый циркон с допалеозойскими датировками поступал в осадок скорее всего из кор химического выветривания и вовлекался в осадочный рециклинг.

Источником магматического циркона могли служить продукты разрушения неогарейских-раннепалеозойских трапповых формаций, девонских изверженных и вулканогенно-осадочных пород, участвующих в строении фундамента ДДВ [4]. Активный рост соляных куполов

начиная с карбонового времени [6] несомненно оказывал влияние не только на гидродинамический режим седиментации палеобассейнов данного региона, но и являлся источником кластогенного вещества, заключенного в породах их вскрыши, имеющих девонский, карбоновый, реже пермский возраст. Можно предположить, что развитие соляной тектоники, широко проявленной в пределах ДДВ, способствовало вовлечению обломков вышеперечисленных пород в осадочный процесс. Однако, для доказательства данного предположения требуется дополнительные исследования состава древних терригенно-осадочных пород региона, а также брекчий соляных куполов.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена в рамках госзадания ИГЕМ РАН FMMN 20021-0005.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Александрова Г. Н., Ерофеева К. Г., Кузнецов Б. Н., Романюк Т. В., Шешуков В. С., Дубенский А. С., Ляпунов С. М., Яковлева А. И., Паньков В. Н.* Первые результаты U–Pb датирования зерен детритового циркона из олигоцена юго-востока Воронежской антеклизы и их значение для палеогеографии // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. 2020. Т. 494. № 1. С. 14–19.
2. *Аранович Л. Я., Бортников Н. С., Зингер Т. Ф., Борисовский С. Е., Матреничев В. А., Перцев А. Н., Шарков Е. Ф., Сколотнев С. Г.* Морфология и элементы-примеси циркона из океанической литосферы осевой зоны Срединно-Атлантического хребта (6°–13° с. ш.): свидетельства особенностей магматической кристаллизации и постмагматических преобразований // Петрология. 2017. Т. 25. № 4. С. 1–28.
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.
4. *Лукин А. Е., Цеха О. Г., Гейко Т. С., Омельченко В. В.* Тектоника северного борта Днепровско-Донецкого авлакогена в контексте общих закономерностей континентального рифтогенеза // Геологический журнал. 2012. № 3. С. 7–38.
5. *Панов Ю. Б., Чернышов О. Г.* Особенности изотопного состава цирконов россыпных титан-цирко-

- ниевых месторождений Украины // Геолого-мінералогічний вісник. 2008. №1(19). С. 45–55.
6. Холодов В. Н. Элизонные системы Днепровско-Донецкого авлакогена. Сообщение 2. Катагенетические процессы Днепровско-Донецкой и Припятской впадины и некоторые металлогенические особенности авлакогена // Литология и полезные ископаемые. 2012. № 1. С. 53–77.
 7. Цымбал С. Н., Полканов Ю. А. Минералогия титано-циркониевых россыпей Украины. Киев: Наукова думка, 1975. 248 с.
 8. Чефранова А. В., Чефранов Р. М. Минералы-индикаторы питающих провинций редкометалльно-титановых россыпей Ставропольского свода: Циркон // Геология рудных месторождений. 2022. Т. 64. № 5. С. 574–594
 9. Щербаков И. Б. Петрология Украинского щита. Львов: ЗУКЦ, 2005. 366 с.
 10. Belousova E. A., Griffin W. L. et al. Igneous zircon: trace element composition as an indicator of source rock type // Contrib. Mineral. Petrol. 2002. V. 143. P. 602–622
 11. Bogdanova S. V., Gorbatshev R., Garetsky R. G. EUROPE East European Craton // Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences. Elsevier: Amsterdam, 2016. P. 1–18
 12. Griffin W. L., Powell W. J., Pearson N. J., O'Reilly S. Y. GLITTER: Data Reduction Software for Laser Ablation ICP-MS // Laser Ablation ICP-MS in the Earth Sciences: Current Practices and Outstanding Issues (ed. P.J. Sylvester). Mineralogical Association of Canada short course series 40. 2008. P. 308–311. 13.
 13. Guynn J., Gehrels G. Comparison of Detrital Zircon Age Distribution Using the K-S Test Visualization and Representation of Age-Distribution Data Histograms. 2010. URL: <https://sites.google.com/laserchron.org/arizonalaserchroncenter/home> (date of application: January 18, 2023)
 14. Shumlyanskyy L., Tsybmal S., Monika A. Kusiak M.A., Wilde S.A., Alexander A. Nemchin A.A., Tarasko I., Shumlianska L., Hofmann M. U-Pb Age and Hf Isotope Systematics of Zircon from Eclogite Xenoliths in Devonian Kimberlites: Preliminary Data on the Archaean Roots in the Junction Zone between the Sarmatian and Fennoscandian Segments of the East European Platform // Geosciences. 2021. 11. P. 487.

SOURCES OF NEOGENE RARE METAL-TITANIUM PLACERS OF THE NORTHEASTERN SIDE OF THE DNIEPER-DONETSK BASIN: FIRST RESULTS OF U–Pb GEOCHRONOLOGICAL STUDIES OF DETRITAL ZIRCON

A. V. Chefranova^{1,*}, K. G. Erofeeva^{1,2}, A. S. Dubenskiy²

¹*Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy, and Geochemistry of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation*

²*Geological Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation*

*E-mail: achefra@mail.ru

The sources of terrigenous material involved in the structure of Neogene rare metal-titanium placers on the northeastern side of the Dnieper-Donetsk Basin (DDB) were determined using lithological and mineralogical methods was used, including U-Pb geochronological and chemical study of detrital zircon. Characteristics of the accessory mineral association of the placer, the morphology of individual mineral grains, and the depletion of U, Th, Y, Yb in most of the zircon population indicate that the source was chemical residue probably formed on Proterozoic (70%) and Neoarchean (15%) metamorphic rocks. The presence of zircon crystals with Paleozoic U-Pb age and high contents of U, Th, Y and Yb indicates the proximal source destruction of igneous rocks of Neoproterozoic-Early Paleozoic trap formations, Devonian igneous and volcanic-sedimentary rocks of the DDB. Perhaps the development of salt tectonics, which is widespread in the DDB, facilitated the involvement of debris from the above rocks in sedimentary recycling.

Keywords: detrital zircon, U-Pb dating, rare metal-titanium placers, Poltava sands, Dnieper-Donetsk basin