

УДК 55(234.852) 551.82

ПОИСК ИСТОЧНИКОВ ДЕТРИТА ОРДОВИКСКИХ ПЕСЧАНИКОВ СОЛЬ-ИЛЕЦКОГО БЛОКА (СКВ. 2-ОРДОВИКСКАЯ) НА ОСНОВЕ ПЕРВЫХ ДАННЫХ О ГЕОХИМИЧЕСКОЙ И Lu/Hf-ИЗОТОПНОЙ СИСТЕМАТИКЕ ЦИРКОНОВ

Т. В. Романюк^{1,2,3,*}, Е. А. Белоусова², Н. Б. Кузнецов^{2,3,4},
В. М. Горожанин^{5,6}, Е. Н. Горожанина⁵

Представлено академиком РАН Ю.Г. Леоновым 18.09.2017 г.

Поступило 21.09.2017 г.

Приведены первые изотопно-геохимические и геохимические характеристики (метод “TerraneChrono”) ранее датированных (U/Pb, LA-ICP-MS) детритных цирконов из ордовикских песчаников (скв. 2-Ордовикская Соль-Илецкого блока). Проведено сравнительное рассмотрение характеристик изученных цирконов и соответствующих характеристик комплексов, слагающих возможные питающие провинции.

Ключевые слова: детритные цирконы, элементы-примеси, Lu/Hf-изотопная систематика, Соль-Илецкий блок, ордовик.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-5652487182-87>

ВВЕДЕНИЕ

Соль-Илецкий блок (СИБ) расположен на стыке Восточно-Европейской платформы (ВЕП) с Прикаспийской впадиной и Предуральским прогибом. В СИБ скважинами вскрыт ордовик. Проба (К15-501) ордовикских песчаников отобрана из керна скв. 2-Ордовикская с глубины 3439,7 м. Описание песчаников, процедура выделения детритных цирконов (dZr) описаны в [2]. Ниже представлены первые результаты изучения элементов-примесей (TE) и Lu/Hf-изотопной системы dZr с конкордантностью $|D| < 10\%$. Для 120 dZr изучены U/Pb-система и содержание TE (рис. 1), в 87 из них изучена Lu/Hf-система (рис. 2а). Аппаратура, методические приёмы и константы, использованные при исследованиях, описаны в [13], а подход к их комплексной интерпретации (метод “TerraneChrono”) — в [11, 15].

¹ Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта
Российской Академии наук, Москва

² Australian Research Council Centre of Excellence
for Core to Crust Fluid Systems / GEMOC,
Macquarie University Sydney, Australia

³ Российский университет нефти и газа
им. И.М. Губкина, Москва

⁴ Геологический институт
Российской Академии наук, Москва

⁵ Институт геологии Уфимского научного центра
Уральского отделения Российской Академии наук, Уфа

⁶ Башкирский государственный университет, Уфа
*E-mail: t.romanyuk@mail.ru

ОСНОВЫ МЕТОДИЧЕСКОГО ПОДХОДА

Для цирконов из разных типов магматических пород характерны отличия в концентрациях TE [1, 7, 8]. Исходя из этого разработана классификация CART [8], позволяющая решать обратную задачу — по TE в dZr прогнозировать некоторые типы их родительских пород — гранитоидов (и их эффузивных аналогов) с пониженной ($\text{SiO}_2 < 65\%$ — “диориты”), нормальной ($\text{SiO}_2 = 65\text{--}75\%$ — “граниты”) и повышенной ($\text{SiO}_2 > 75\%$ — “лейкограниты”) кремнекислотностью; пород среднего состава с повышенной щёлочностью (“сиенитов/монзонитов”); карбонатитов и др. Далее dZr, вещественные характеристики которых соответствуют цирконам из перечисленных групп магматических пород, для краткости называются “гранитные”, “диоритовые”, “карбонатитовые” и т.п.

Величина ϵ_{Hf} вычисляется по результатам изучения Lu/Hf-изотопной системы циркона. Значения $\epsilon_{\text{Hf}} > 0$ указывают на ювенильность магм родительских пород циркона, $\epsilon_{\text{Hf}} < 0$ — о том, что в субстрате, из которого выплавились эти магмы, вовлечено вещество континентальной коры [9, 10]. Для каждого циркона может быть оценено (точность ~0,3 млрд лет) время отделения корового субстрата от мантии T_{DM}^{C} .

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для dZr из пробы К15-501 получены ϵ_{Hf} от $-12,9 \pm 0,9$ до $+11,7 \pm 0,8$ и T_{DM}^{C} от 1,0 до 3,7 млрд

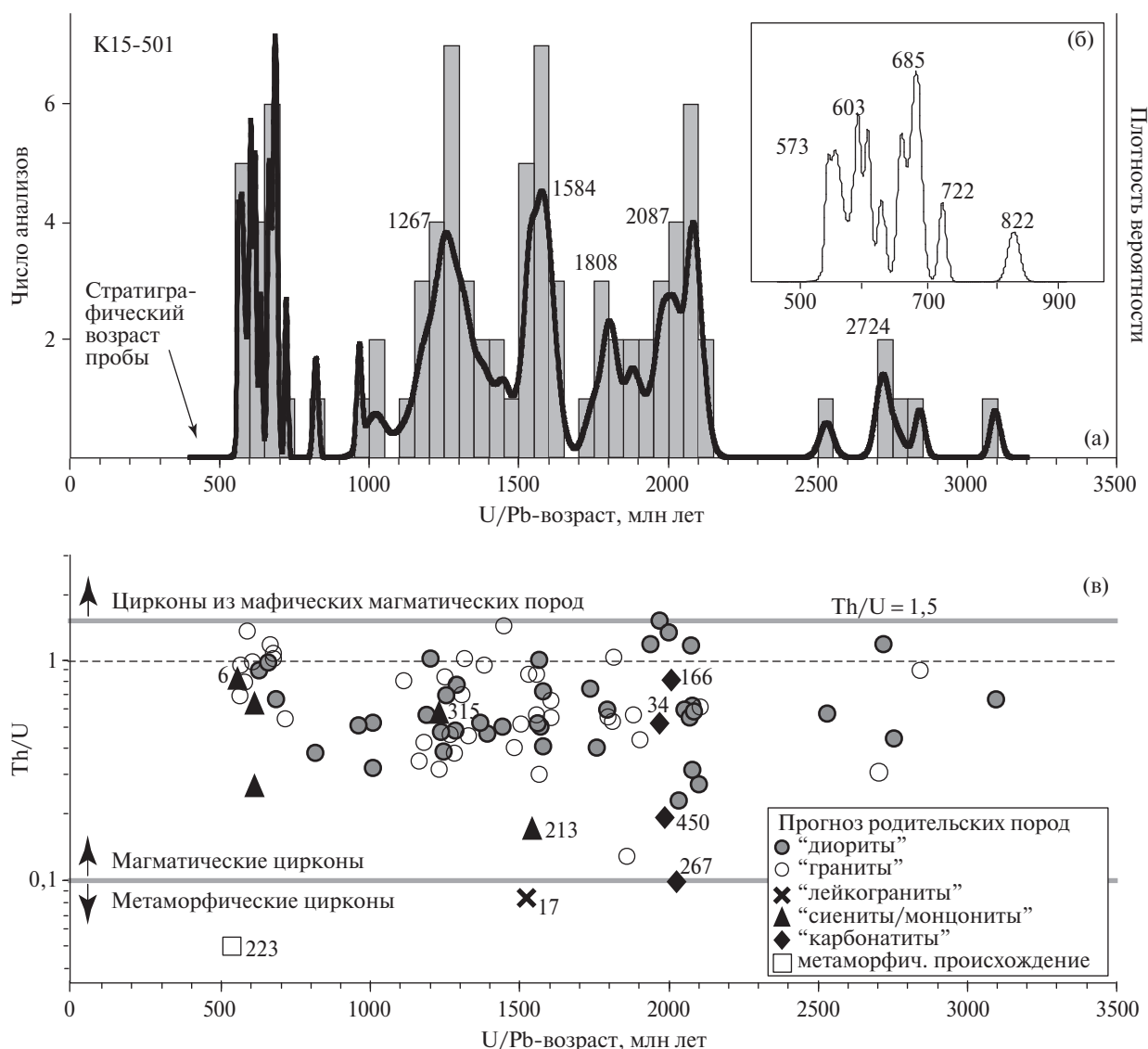


Рис. 1. Результаты изучения содержаний элементов-примесей и U/Th/Pb-изотопной системы детритных цирконов из пробы K15-501. а — гистограмма и график плотности вероятности, б — увеличенный фрагмент для интервала 500–1000 млн лет, характеризующие распределение возрастов детритных цирконов, в — график “U/Pb-изотопный возраст vs Th/U-отношение” в детритных цирконах. Символами показан тип родительских пород dZr, оцененный по содержанию элементов-примесей с помощью алгоритма CART. Цифры около символов — номера анализов.

лет. За исключением № 223, все dZr из пробы K15-501 — магматогенные. Их родительские породы: “диориты” (57), “граниты” (48), “сиениты/монцитоны” (8), “карбонатиты” (4) и “лейкограниты” (5).

Все dZr, классифицированные как “лейкогранитные” (5 шт.), имеют довольно схожие тёмные катодолюминесцентные изображения без видимой зональности. Возраст зерна № 17 1527 ± 20 млн лет, а $T_{DM}^C = 2,14$ млрд лет. Для остальных “лейкогранитных” dZr из-за высокой дискордантности их датировок Lu/Hf-система не изучена, и дать интерпретацию этих dZr невозможно.

Все четыре “карбонатитовых” dZr показали возрасты ~2,05 млрд лет. Три из них имеют значения

$\epsilon_{Hf} \sim +5$, что указывает на ювенильность субстрата, из которого выплавились магмы, родительские по отношению к этим dZr. Однако dZr № 267 показал значение $\epsilon_{Hf} = -5,8 \pm 0,4$, свидетельствующее о том, что магмагенерирующий субстрат содержал заметную добавку изотопно-зрелого корового вещества. Это же зерно характеризуется значением $Th/U \sim 0,1$, т.е., возможно, это зерно подверглось метаморфической переработке. Таким образом, в пробе K15-501 зафиксирован провенанс-сигнал от короткоживущего ультращелочного магматического источника.

Восемь dZr (№ 6, 32, 43, 213, 221, 315, 363 и 366) классифицированы как “сиенит/монцитоновые”.

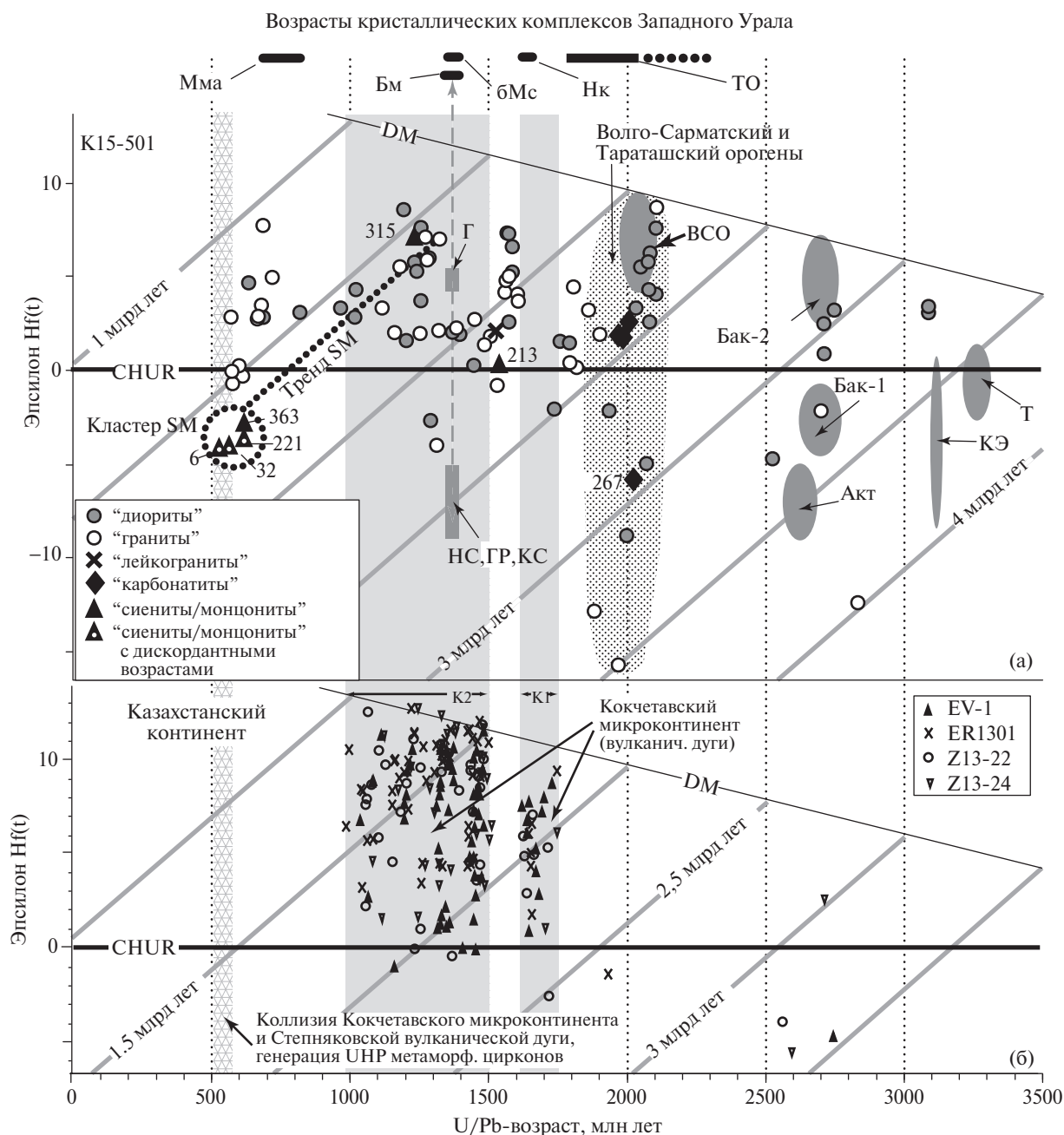


Рис. 2. Диаграмма “U/Pb-изотопный возраст циркона — ϵHf ” для детритных цирконов из пробы K15-501 (а) и микроконтинентов западной части ЦАСП (б) по [14]. Линия CHUR соответствует хондритовому резервуару (Chondritic Unfractionated Reservoir) — $\epsilon\text{Hf} = \epsilon\text{Hf} = 0$, линия DM — линия эволюции деплетированной мантии. Линии эволюции средней континентальной коры ($^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf} = 0,015$) показаны серыми линиями. Серые эллипсы — поля фигуративных точек возрастов и T_{DM}^{C} , оценённых по Sm/Nd-изотопной системе, для Бакалинского блока Волго-Уралии (комплексы: Т — Ташлярский, Бак-1, Бак-2 и Акт — Актыанский), для южной части Волго-Сарматского орогена (BCO), спаявшего Волго-Уралою и Сарматию, для Кольванских эндревитов (КЭ) (см. сводку в [4, 5]). Серые прямоугольники — поля фигуративных точек возрастов и ϵHf для пород Бердяшского массива Западного Урала (Г — габбро, НС, ГР, КС — нефелиновые сиениты, граниты рапакиви и кварцевые сиено-диориты) по [6]. Для других комплексов Западного Урала в верхней части рисунка показаны только возрастные интервалы (см. сводку в [4, 5]): ТО — гранитоиды и метаморфиты тараташского комплекса (реликты Тараташского орогена), Нк — щелочные базальтоиды Навышского комплекса, Бм — породы Бердяшского массива, бМс — бимодальные вулканиты машакской свиты (см. сводку в [4, 5]), Мма — гранитоиды и габброиды Мазаринского магматического ареала (по [3]). Крупный эллипс, залитый точечной штриховкой, — область, соотносимая с цирконами, генерированными BCO и ТО. Серые полосы K1 и K2 на (б) — возрастные интервалы, в течение которых формировались океанические островные дуги, слагающие фундамент Кокчетавского и других микроконтинентов западной части ЦАСП.

Зёрна № 315 и 213 имеют конкордантные возрасты 1234 ± 25 и 1541 ± 43 млн лет соответственно. Для зёрен № 32 и 221, несмотря на высокую дискордантность (13 и 16%), изучена Lu/Hf-система. В зерне № 43 не осталось места для изучения Lu/Hf-системы. Для шести “сиенит/монцонитовых” dZr-возрасты близки — попадают в интервал 527–618 млн лет. Четыре зерна, для которых получены Hf-характеристики, формируют компактный кластер SM, который вместе с зерном № 315 формирует тренд “SM” (рис. 2). Этот тренд близко соответствует (учитывая точность оценок ϵ_{Hf}) линии эволюции континентальной коры с возрастом 1,5–1,6 млрд лет. Это означает, что “сиенит/монцонитовые” dZr из пробы K15-501 характеризуют провенанс-сигнал длительно действующего в области эрозии соответствующего источника магматизма, который действовал начиная как минимум с рубежа 1,2 млрд лет, когда источник этих магм был ещё ювенильным (положительная величина ϵ_{Hf}). Затем (в интервале 527–618 млн лет) из того же субстрата выплавлялись магмы, которые, судя по TE в dZr, имели тот же сиенит-монцонитовый состав. При этом Hf-изотопная эволюция субстрата этих магм согласуется со временем пребывания его в коре.

ПОИСК ВОЗМОЖНЫХ ИСТОЧНИКОВ СНОСА

Источники детрита, которым сложены ордовикские песчаники СИБ, могли располагаться на Западном Урале, в Волго-Уральской части фундамента ВЕП, в палеозоидах Центрально-Азиатского складчатого пояса (ЦАСП) и в кадомидях южного обрамления ВЕП.

Сопоставление характеристик dZr из пробы K15-501 с характеристиками кристаллических комплексов Западного Урала и Волго-Уральской части фундамента ВЕП показало (рис. 2):

1) Первичными источниками раннедокембрийских dZr вполне могли быть позднепротерозойские комплексы Волго-Сарматского и Тараташского орогенов (ВСО и ТО), а также позднепротерозойские и архейские комплексы Волго-Уралии.

2) В работах [4, 5] есть сводка геохимических характеристик пород Ташлярского и Актанышского комплексов, Кольванских эндербитов и диоритов Бакалинского блока (Бак-1 и Бак-2) Волго-Уралии. Фигуративные точки для единичных “диоритовых” dZr из пробы K15-501 попали в поля “Бак-2” (две) и “Бак-1” (одна).

3) Фигуративные точки для шести dZr из пробы K15-501 попали, а семь dZr близки к полю изотопных параметров пород южной части ВСО.

4) Возрасты нескольких dZr из ордовикских песчаников (K15-501) близки возрастам интрузивных пород расположенного на Западном Урале Бердяшского массива. Это может быть указанием на него как на возможный первичный источник. Цирконы из габбро этого массива имеют значения $\epsilon_{\text{Hf}} +4,6 \pm 1,0$, а цирконы из его нефелиновых сиенитов, гранитов-рапакиви и кварцевых сиенодиоритов — значения $\epsilon_{\text{Hf}} -5,32 \pm 0,7$; $-5,99 \pm 0,9$ и $-7,6 \pm 1,4$ соответственно [6], что в целом характерно для бимодальных серий. В продуктах эрозии этих серий представлены dZr как с $\epsilon_{\text{Hf}} < 0$, так и с $\epsilon_{\text{Hf}} > 0$. Учитывая, что в основных породах цирконы более редки, чем в кремнекислых, вероятность обнаружения в эрозионных продуктах бимодальных серий “гранитных” dZr с $\epsilon_{\text{Hf}} < 0$ гораздо выше. Однако в пробе K15-501 dZr с $\epsilon_{\text{Hf}} < 0$ и возрастными, сопоставимыми с возрастом пород Бердяшского массива, не зафиксированы, поэтому эти породы вряд ли были источником dZr пробы K15-501.

5) Кристаллических комплексов с возрастными моложе 1,65 млрд лет в расположенных близко к СИБ частях фундамента ВЕП нет. Однако в пробе K15-501 dZr с такими возрастными много. Их потенциальными первичными источниками могли быть докембрийские комплексы микроконтинентов, расположенных на западе ЦАСП, или кадомиды фундамента Скифско-Туранской плиты. Для тестирования последних как источника детрита пока данных нет. По ЦАСП данные есть.

Кокчетавский блок (КБ) [12, 14 и др.] (и, по-видимому, другие микроконтиненты запада ЦАСП) сформирован из материала ювенильных позднепротерозойских и мезопротерозойских океанических дуг. Этапы их формирования — эпизоды K1 и K2 (рис. 2б). В интервале 1,1–1,2 млрд лет произошла консолидация фундамента микроконтинентов. В верхнерифейских толщах проточехла КБ [14] представлены единичные архейские dZr, а также позднепротерозойские и мезопротерозойские (доминируют) dZr с возрастными, соответствующими эпизодам K1 и K2. Сравнение характеристик dZr из пробы K15-501 и dZr из верхнего рифея КБ (рис. 2б) показывает, что в пробе K15-501: 1) не зафиксированы dZr с $\epsilon_{\text{Hf}} > 7$, тогда как для казахстанских dZr группы K2 характерны высокие $\epsilon_{\text{Hf}} > 0$ (в том числе +10 — +13); 2) нет dZr с возрастными, соответствующими казахстанским dZr группы K1; 3) зафиксированы многочисленные dZr с возрастными 1,5–1,6 млрд лет, которые отсутствуют в казахстанских пробах. Таким образом, характеристики dZr из пробы K15-501 не совпадают с характеристиками dZr из верхнего

риффея КБ, сложенных продуктами эрозии фундамента микроконтинентов западной части ЦАСП. Это не позволяет рассматривать их как источники dZr из пробы K15-501.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В пробе K15-501 зафиксированы многочисленные dZr с возрастными 1,5–1,6 млрд лет, которые указывают на источник сноса, неизвестный ни в Волго-Уральской части фундамента ВЕП, ни в Западном Урале, ни в ЦАСП.

Источники финансирования. Лабораторные исследования выполнены в Australian Research Council Centre of Excellence for Core to Crust Fluid Systems /GEMOC с использованием оборудования, спонсируемого DEST Systemic Infrastructure Grants, ARC LIEF, NCRIS/AuScope, Industry Partners and Macquarie University и поддержки гранта ARC FT110100685 (Белюсова Е.А). Публикация № 889 ARC Centre of Excellence for Core to Crust Fluid Systems (<http://www.cafs.mq.edu.au>) и № 1132 GEMOC Key Centre (<http://www.gemoc.mq.edu.au>). Обработка анализов, сбор регионально-геологических материалов и подготовка публикации поддержаны соответственно РНФ (14–27–00058), МОН РФ (14.Z50.31.0017) и РФФИ (проекты 16–05–00259 и 16–05–00519).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Костицын Ю.А., Белоусова Е.А., Силантьев С.А., Бортников Н.С., Аносова М.О. Современные проблемы геохимических и U–Pb-геохронологических исследований циркона в океанических породах // Геохимия. 2015. № 9. С. 771–800.
2. Кузнецов Н.Б., Горожанин В.М., Белоусова Е.А., Дегтярев К.Е., Горожанина Е.Н., Романюк Т.В., Каньгина Н.А. Первые результаты U–Pb-датирования детритовых цирконов из ордовикских терригенных толщ Соль-Илецкого блока Восточно-Европейской платформы // ДАН. 2017. Т. 437. № 4. С. 435–458.
3. Кузнецов Н.Б. Комплексы протоуралит-тиманид и позднедокембрийско-раннепалеозойская эволюция восточного и северо-восточного обрамления Восточно-Европейской платформы. Автореф. дис. д-ра геол.-минерал. наук. М.: Ин-т физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, 2009. 49 с.
4. Романюк Т.В., Кузнецов Н.Б., Маслов А.В., Белоусова Е.А., Ронкин Ю.Л., Горожанин В.М., Горожанина Е.Н. Геохимическая и Lu/Hf (LA–ICP–MS)-систематика детритных цирконов из лемезинских песчаников верхнего риффея Южного Урала // ДАН. 2013. Т. 453. № 6. С. 657–661
5. Романюк Т.В., Кузнецов Н.Б., Маслов А.В., Белоусова Е.А., Крупенин М.Т., Ронкин Ю.Л., Горожанин В.М., Горожанина Е.Н. Геохимическая и Lu/Hf-изотопная (LA–ICP–MS) систематика детритных цирконов из песчаников базальных уровней стратотипа риффея // ДАН. 2014. Т. 459. № 3. С. 340–344.
6. Ронкин Ю.Л., Gerdes A., Маслов А.В., Nesbitt R.W. REE- и Lu-Hf-систематика циркона гранитов рапакиви и ассоциирующих пород суперконтинента Нуна. Изотопное датирование геологических процессов: новые результаты, подходы и перспективы. СПб.: Springer, 2015. С. 226–228.
7. Ферутатер Г.Б., Краснобаев А.А., Беа Ф., Монтеро П. Геохимия циркона из магматических и метаморфических пород Урала // Литосфера. 2012. № 4. С. 13–29.
8. Belousova E.A., Walters S., Griffin W.L., O'Reilly S.Y., Fisher N.I. Igneous Zircon: Trace Element Compositions as Indicators of Source Rock Type // Contrib. Mineral. and Petrol. 2002. V. 143. № 5. P. 602–622.
9. Belousova E.A., Griffin W.L., O'Reilly S.Y. Zircon Crystal Morphology, Trace Element Signatures and Hf Isotope Composition as a Tool for Petrogenetic Modeling: Examples from Eastern Australian Granitoids // J. Petrol. 2006. V. 47. № 2. P. 329–353.
10. Griffin W.L., Belousova E.A., Walters S.G., O'Reilly S.Y. Archean and Proterozoic Crustal Evolution in the Eastern Succession of the Mt Isa District, Australia: U–Pb- and Hf-Isotope Studies of Detrital Zircons // Austral. J. Earth Sci. 2006. V. 53. P. 125–149.
11. Griffin W.L., Belousova E.A., O'Reilly S.Y. Terrane Chron Analysis of Zircons from Western Australian Samples // Geol. Surv. Western Australia. 2007. V. 4. 52 p.
12. Degtyarev K., Yakubchuk A., Tretyakov A., Kotov A., Kovach V. Precambrian Geology of the Kazakh Uplands and Tien Shan: An Overview // Gondwana Res. 2017. V. 47. P. 44–75.
13. Jackson S.E., Pearson N.J., Griffin W.L., Belousova E.A. The Application of Laser Ablation-Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry to *in situ* U–Pb Zircon Geochronology // Chem. Geol. 2004. V. 211. P. 47–69.
14. Kovach V., Degtyarev K., Tretyakov A., Kotov A., Tolmacheva E., Wang K.-L., Chung S.-L., Lee H.-Y., Jahn B.-M. Sources and Provenance of the Neoproterozoic Placer Deposits of the Northern Kazakhstan: Implication for Continental Growth of the Western Central Asian Orogenic Belt // Gondwana Res. 2017. V. 47. P. 28–43.
15. Veevers J.J., Saeed A., Belousova E.A., Griffin W.L. U–Pb-Ages and Source Composition by Hf-Isotope and Trace-Element Analysis of Detrital Zircons in Permian Sandstone and Modern Sand from Southwestern Australia and a Review of the Paleogeographical and Denudational History of the Yilgarn Craton // Earth Sci. Revs. 2005. V. 68. P. 245–279.

A SEARCH FOR SOURCES OF THE DETRITUS OF THE ORDOVICIAN SANDSTONES FROM SOL-ILETSK BLOCK (HOLE ORDOVICIAN-2) BASED ON THE FIRST DATA OF THE GEOCHEMICAL AND Lu/Hf-ISOTOPIC SYSTEMATIC OF ZIRCONS

**T. V. Romanyuk^{1,2,3}, E. A. Belousova², N. B. Kuznetsov^{2,3,4},
V. M. Gorozhanin^{5,6}, E. N. Gorozhanina⁵**

¹*Schmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Science, Moscow, Russian Federation*

²*ARC Centre of Excellence for Core to Crust Fluid Systems and GEMOC ARC National Key Centre, Department of Earth and Planetary Sciences, Faculty of Science and Engineering, Macquarie University, Sydney, Australia.*

³*Geological Institute, Russian Academy of Science, Moscow, Russian Federation*

⁴*Gubkin Russian State University of Oil and Gas, Moscow, Russian Federation*

⁵*Institute of Geology, Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Science, Ufa, Russian Federation*

⁶*Bashkir State University, Ufa, Russian Federation*

Presented by Academician of the RAS Yu.G. Leonov September 18, 2017

Received September 21, 2017

The first isotope-geochemical and geochemical characteristics (the “TerraneChrono” method) of previously dated (U–Pb, LA–ICP–MS) detrital zircons from Ordovician sandstones (borehole Ordovician-2, Sol-Iletsk block) are presented. A comparative analysis of the characteristics of the studied zircons and the corresponding characteristics of the complexes composing the possible feeding provinces is carried out.

Keywords: detrital zircons, trace-elements, Lu/Hf-isotopic systematic, Sol-Iletsk block, Ordovician.