

УДК 55(234.852)551.82

ГЕОХИМИЧЕСКАЯ И Lu/Hf-ИЗОТОПНАЯ (LA-ICP-MS) СИСТЕМАТИКА ОБЛОМОЧНЫХ ЦИРКОНОВ ИЗ ВЕРХНЕОРДОВИКСКИХ ПЕСЧАНИКОВ БАШКИРСКОГО ПОДНЯТИЯ (ЮЖНЫЙ УРАЛ)

© 2017 г. Т. В. Романюк^{1,2,3,*}, Н. Б. Кузнецов^{1,2,3,4}, Е. А. Белоусова³,
член-корреспондент РАН К. Е. Дегтярев⁴, член-корреспондент РАН А. В. Маслов⁵,
В. М. Горожанин⁶, Е. Н. Горожанина⁶, Е. С. Пыжова⁷

Поступило 15.03.2014 г.

Представлены результаты изучения элементов-примесей и Lu/Hf-изотопной систематики в предварительно датированных (U–Pb) детритных цирконах из верхнеордовикских песчаников южной части Башкирского поднятия. Анализ содержаний элементов-примесей в цирконах свидетельствует о том, что среди их источников присутствовали породы среднего (62%), основного (24%), кислого (9%) составов и щелочные (2%) породы. Lu/Hf-систематика цирконов показала широкий разброс ϵ_{Hf} (+9.50...–8.70) и модельных возрастов субстрата ($1.60 < T_{\text{DM}}^{\text{C}} < 3.28$ млрд лет). Сопоставление изотопно-геохимических характеристик обломочных цирконов из разных уровней рифейско-палеозойского разреза Башкирского поднятия, раннекембрийской брусовской свиты Мезенского бассейна и раннепротерозойских джежимских песчаников Тиманского кряжа позволяет предполагать, что в конце позднего докембрия вблизи Уральского края Балтики располагался крупный блок позднемезопротерозойско-раннепротерозойской коры, в котором значительный объем занимали меланократовые породы.

DOI: 10.7868/S0869565217040168

На западном склоне Южного Урала рифейские и вендские [14] образования обнажены в пределах Башкирского поднятия (БП), где они с параллельным несогласием перекрыты палеозойскими толщами [14]. Накопление этих комплексов происходило в крупном длительно развивавшемся Восточно-Башкирском осадочном бассейне (ВББ). Из верхнеордовикских песчаников этого бассейна отобрана проба K12-025, из которой выделены обломочные цирконы, имеющие возраст от 554 ± 9 до 2806 ± 33 млн лет [1]. В на-

шей работе представлены результаты доизучения элементов-примесей (58 анализов) и Lu/Hf-изотопной систематики (39 анализов) в обломочных цирконах из этой же пробы (рис. 1а), выполненные в Центре GEMOC, Университет Маквори, Австралия. Технические детали аппаратуры, методические приемы и константы, использованные для обработки аналитических данных, в [10]; подход к комплексной интерпретации данных (метод “TerraneChrono”) в [9, 13].

Обработка данных по распределению элементов-примесей с помощью алгоритма CART [8] показала, что среди пород-источников обломочных цирконов доминировали гранитоиды с содержаниями $\text{SiO}_2 < 65\%$ (36 зерен), объединяемые в группу “диоритов”. Вторую по значимости роль играли “базиты” (габбро, базальты и др.), 14 зерен. Второстепенную роль играли зерна, источниками которых выступали гранитоиды с содержаниями $\text{SiO}_2 70\text{--}75\%$ (“граниты”), 5 зерен, и щелочные породы (“сиениты”), 1 зерно, рис. 2.

По результатам изучения Lu/Hf-изотопной системы рассчитаны величины ϵ_{Hf} и построена диаграмма $\epsilon_{\text{Hf}}\text{--}U/\text{Pb}$ -возраст (рис. 1). Для изученных цирконов установлено, что значения ϵ_{Hf}

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

² Российский государственный университет
нефти и газа им. М.И. Губкина, Москва

³ GEMOC, Macquarie University, Sydney, Australia

⁴ Геологический институт
Российской Академии наук, Москва

⁵ Институт геологии и геохимии им. А.Н. Заварицкого
Уральского отделения Российской Академии наук,
Екатеринбург

⁶ Институт геологии Уфимского научного центра
Российской Академии наук, Уфа

⁷ Российский университет дружбы народов, Москва

* E-mail: t.romanyuk@mail.ru

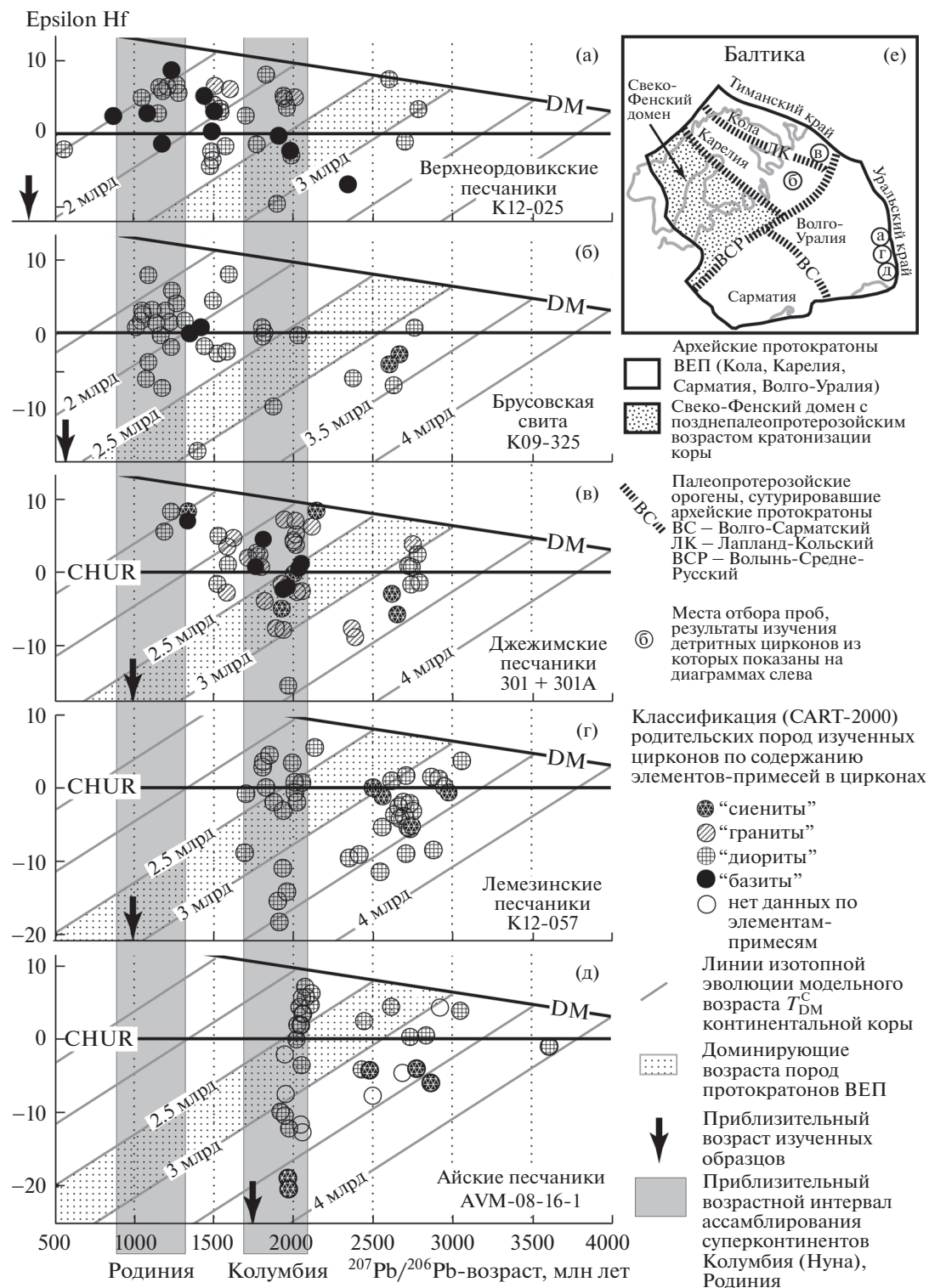


Рис. 1. Диаграммы ϵ_{Hf} , оцененного по параметрам Lu/Hf-изотопной системы в зависимости от $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ -возрастов $d\text{Zr}$; тип пород-источников $d\text{Zr}$ классифицирован по содержанию элементов-примесей (алгоритм CART, [8], рис. 2). а. Верхнеордовикские песчаники БП (проба K12-025). б. Раннекембрийская брусовская свита Мезенского бассейна (проба K09-325, [11]). в. Раннепалеопротерозойские джежимские песчаники Тиманского края (проба 301 + 301А, [2]). г. Среднерифейские песчаники БП (проба K12-057, [6]). д. Нижнерифейские песчаники БП (проба AVM-08-16-1, [7]). Положение проб на схеме е.

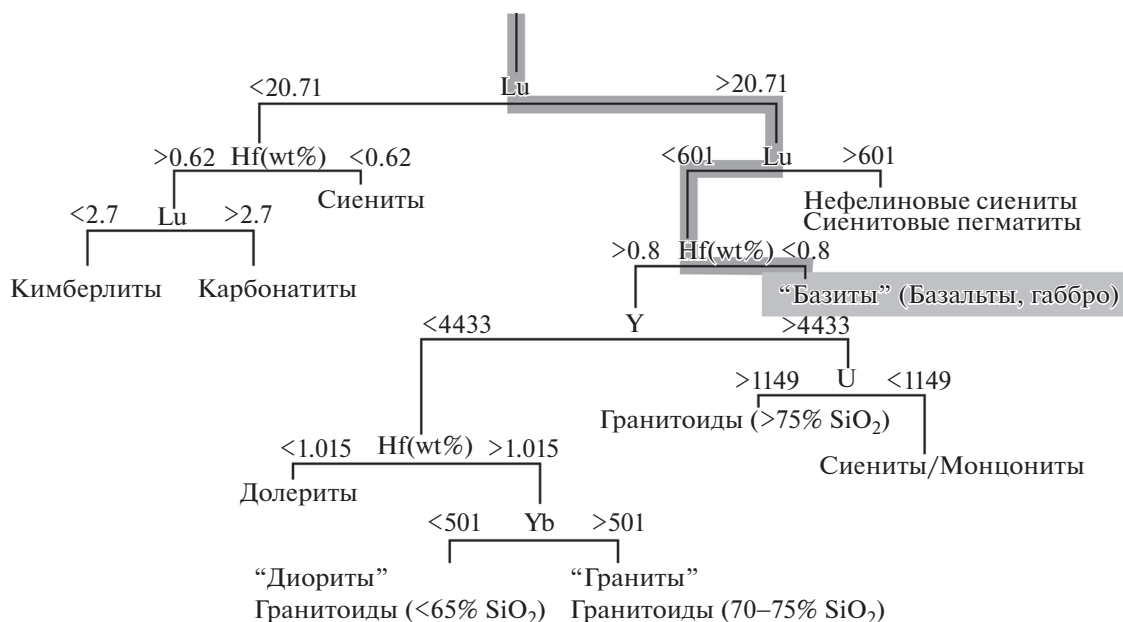


Рис. 2. Классификационное дерево алгоритма CART [8], использованное для прогнозирования типа родительских пород изученных dZr из пробы K12-025. Серая линия — путь по дереву, в соответствии с которым тип родительских пород для 16 зерен dZr был классифицирован как “базиты”, т.е. габбро или базальты.

от +9.5 до –8.7, а модельные возрасты субстрата (T_{DM}^C) от 1.60 до 3.28 млрд лет (рис. 1а).

К настоящему времени получены данные о возрастах обломочных цирконов из песчаников пяти уровней рифейско-палеозойского разреза БП — нижнего [4, 7] и верхнего рифея [5, 6], верхнего венда—(?)нижнего кембрия [11], верхнего ордовика [1] и верхов нижнего девона [11], которые позволяют выделить особый поздневендско-ордовикский этап в эволюции ВББ [1]. В песчаниках рифея установлены только палеопротерозойские и архейские обломочные цирконы [4, 5], что позволяет считать их источниками комплексы фундамента расположенной западнее ВЕП — Восточно-Европейской платформы (Балтийские источники). Отличительные особенности песчаников верхнего венда и верхнего ордовика — присутствие большого количества мезопротерозойских обломочных цирконов, источниками которых могли быть образования, располагавшиеся, вероятно, к востоку от ВББ (небалтийские источники) [1, 11, 15].

Распределение редких и рассеянных элементов и Hf-изотопная систематика цирконов из пробы K12-025 подтверждают резкую смену питающих провинций ВББ в венде—ордовике (рис. 1а, г, д). Источники обломочных цирконов в рифейских песчаниках БП имеют модельные возраста субстрата (T_{DM}^C) от 3 до 3.5 млрд лет, а в единичных случаях — более 3.5 млрд лет [6, 7]. В то же время большинство обломочных цирконов из песчаников верхнего ордовика, включая и единичные ар-

хейские цирконы, характеризуются мантийными Hf-метками ($\epsilon_{Hf} \geq 0$), что указывает на ювенильный характер субстрата [1]. Кардинальная смена питающих провинций подтверждается также существенной ролью “базитов” среди пород-источников обломочных цирконов в верхнеордовикских песчаниках и отсутствием таковых в рифейских песчаниках. Отметим, что единичные “базитовые” детритные цирконы зафиксированы в песчаниках раннекембрийской брусовской свиты Мезенского бассейна (рис. 1б) и в раннепротерозойских джежимских песчаниках Тиманского кряжа (рис. 1в). Если учесть, что в породах основного состава цирконы встречаются в весьма ограниченных количествах, то такая высокая доля “базитовых” зерен определенно свидетельствует о чрезвычайной распространенности меланократовых магматических комплексов среди первичных источников кластики для песчаников верхнего ордовика БП.

Однако, принимая во внимание существенно кварцевый состав верхнеордовикских песчаников, можно предположить, что цирконы из базитовых пород поступили в песчаники не напрямую из меланократовых комплексов, а при рециклинге продуктов их разрушения. Цирконы из базитовых пород достаточно равномерно распределены в интервале 2.4–0.9 млрд лет, что может свидетельствовать о широком возрастном диапазоне меланократовых комплексов среди пород-источников.

Таким образом, полученные данные позволяют предположить, что в позднем докембрии к Ураль-

скому краю ВЕП был причленен крупный блок, в строении которого большую роль играли мезопротерозойско-ранненеопротерозойские комплексы со значительным объемом меланократовых образований [3, 11]. В венде продукты разрушения комплексов этого блока накапливались на востоке ВЕП, включая современные западные зоны Урала (породы ашинской серии и ее возрастных аналогов). В начале раннего палеозоя в пределах Волго-Уральской части ВЕП эти образования были выведены в зону эрозии, где испытали физическое и химическое выветривания. В ордовике высокозрелый обломочный материал, образовавшийся по вендским полимиктовым песчаникам и содержащий устойчивые к выветриванию цирконы, представляющие собой рециклированные продукты эрозии мезопротерозойско-ранненеопротерозойских комплексов (в том числе меланократовых), поступил в ВВБ.

Изотопно-геохимические исследования выполнены при поддержке центра GEMOC (Сидней, Австралия). Обработка данных проведена за счет средств Российского научного фонда (проект № 14–27–00058), материалы по строению Урала и ВЕП собраны в соответствии с задачами гранта 2330 МОН РФ, подготовка публикации проведена при финансовой поддержке РФФИ (проекты № 16–05–00259 и 16–05–00519).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузнецов Н.Б., Белоусова Е.А., Дегтярев К.Е., Пыжова Е.С., Маслов А.В., Горожанин В.М., Горожанина Е.Н., Романюк Т.В. Первые результаты U/Pb датирования детритовых цирконов из верхнеордовикских песчаников Башкирского поднятия (Южный Урал) // ДАН. 2016. Т. 467. № 5. С. 560–565.
2. Кузнецов Н.Б., Натапов Л.М., Белоусова Е.А., Гриффин У.Л., О'Рейли С., Куликова К.В., Соболева А.А., Удoratина О.В. Первые результаты U/Pb датирования и изотопно-геохимического изучения детритных цирконов из позднедокембрийских песчаников Южного Тимана (увал Джежим-Парма) // ДАН. 2010. Т. 435. № 6. С. 798–805.
3. Кузнецов Н.Б., Романюк Т.В., Шаццло А.В., Орлов С.Ю., Голованова И.В., Данукалов К.Н., Ипатьева И.С. Первые результаты массового U/Pb изотопного датирования (LA–ICP–MS) детритных цирконов из ашинской серии Южного Урала – палеогеографический и палеотектонический аспекты // ДАН. 2012. Т. 447. № 1. С. 73–79.
4. Кузнецов Н.Б., Маслов А.В., Белоусова Е.А., Романюк Т.В., Крупенин М.Т., Горожанин В.М., Горожанина Е.Н., Серегина Е.С., Цельмович В.А. Первые результаты U–Pb LA–ICP–MS–изотопного датирования обломочных цирконов из базальных уровней стратотипа рифея // ДАН. 2013. Т. 451. № 3. С. 308–313.
5. Романюк Т.В., Маслов А.В., Кузнецов Н.Б., Белоусова Е.А., Ронкин Ю.Л., Крупенин М.Т., Горожанин В.М., Горожанина Е.Н., Серегина Е.С. Первые результаты U/Pb LA–ICP–MS–датирования детритных цирконов из верхнерифейских песчаников Башкирского антиклинория (Южный Урал) // ДАН. 2013. Т. 452. № 6. С. 642–645.
6. Романюк Т.В., Кузнецов Н.Б., Маслов А.В., Белоусова Е.А., Ронкин Ю.Л., Горожанин В.М., Горожанина Е.Н. Геохимическая и (LA–ICP–MS) Lu/Hf систематика детритных цирконов из лемезинских песчаников верхнего рифея Южного Урала // ДАН. 2013. Т. 453. № 6. С. 657–661.
7. 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 рифея // ДАН. 2014. Т. 459. № 3. С. 340–344.
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 // Contribs Miner. and Petrol. 2002. V. 143. № 5. P. 602–622.
9. Griffin W.L., Belousova E.A., Shee S.R., Pearson N.J., O'Reilly S.Y. Archean Crustal Evolution in the Northern Yilgarn Craton: U–Pb and Hf–Isotope Evidence from Detrital Zircons // Precamb. Res. 2004. V. 131. P. 231–282.
10. 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.
11. Kuznetsov N.B., Meert J.G., Romanyuk T.V. Ages of Detrital Zircons (U/Pb, LA–ICP–MS) from the Latest Neoproterozoic–Middle Cambrian(?) Asha Group and Early Devonian Takaty Formation, the Southwestern Urals: A Test of an Australia–Baltica Connection within Rodinia // Precamb. Res. 2014. V. 244. P. 288–305.
12. Kuznetsov N.B., Belousova E.A., Alekseev A.S., Romanyuk T.V. New Data on Detrital Zircons from the Sandstones of Lower Cambrian Brusov Formation (White-Sea Region, East-European Craton): Unraveling the Timing of the Onset of the Arctida–Baltica Collision // Intern. Geol. Rev. 2014. V. 56. № 16. P. 1945–1963.
13. 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. Rev. 2005. V. 68. P. 245–279.
14. Maslov A.V. Riphean and Vendian Sedimentary Sequences of the Timanides and Uralides, the Eastern Periphery of the East European Craton // Mem. Geol. Soc. London. 2004. V. 30. P. 19–35.
15. Willner A.P., Sindern S., Metzger R., Ermolaeva T., Kramm U., Puchkov V., Kronz A. Typology and Single Grain U/Pb Ages of Detrital Zircons from Proterozoic Sandstones in the SW Urals (Russia): Early Time Marks at the Eastern Margin of Baltica // Precamb. Res. 2003. V. 124. P. 1–20.