

УДК 550.42

ВОЗРАСТ И ИСТОЧНИКИ МЕТАОСАДОЧНЫХ ПОРОД ТОКУРСКОГО ТЕРРЕЙНА МОНГОЛО-ОХОТСКОГО СКЛАДЧАТОГО ПОЯСА: РЕЗУЛЬТАТЫ U–Pb-ГЕОХРОНОЛОГИЧЕСКИХ И Lu–Hf-ИЗОТОПНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В. А. Заика, А. А. Сорокин*, член-корреспондент РАН А. П. Сорокин

Поступило 14.01.2019 г.

В работе представлены результаты U–Pb (LA–ICP–MS)- и Lu–Hf-изотопных исследований детритовых цирконов из условно пермских метаосадочных пород Токурского террейна. Установлено, что метаосадочные породы токурской и экимчанской свит характеризуются сходными возрастными группами детритовых цирконов, что указывает на близкий (или одинаковый) возраст этих свит. Нижняя возрастная граница свит определяется по возрасту наиболее молодых цирконов на уровне 326–323 млн лет. Верхняя возрастная граница определяется на уровне 254–251 млн лет на основании прорывания их позднепермскими гранитоидами. Главными источниками цирконов в метаосадочных породах Токурского террейна являются магматические и метаморфические комплексы юго-восточного обрамления Северо-Азиатского кратона. Токурский террейн может рассматриваться в качестве фрагмента палеозойского аккреционного комплекса, формирование которого произошло перед юго-восточной окраиной Северо-Азиатского кратона.

Ключевые слова: Монголо-Охотский складчатый пояс, Унья-Бомский террейн, Sm–Nd, метаосадочные породы.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-56524864446-450>

Монголо-Охотский складчатый пояс является одним из наиболее крупных структурных элементов Восточной Азии (рис. 1). Этот пояс обычно принято рассматривать в качестве реликта одноимённого палеоокеана [2 и др.], закрывшегося в результате коллизии Северо-Азиатского кратона и Амурского супертеррейна (композиционного массива).

Наиболее дискуссионными остаются вопросы о возрасте геологических образований, участвующих в строении пояса, а также времени и характере проявления аккреционных и коллизионных процессов. В настоящей работе в этом плане обсуждаются результаты U–Pb (LA–ICP–MS)- и Lu–Hf-изотопных исследований детритовых цирконов из условно пермских метаосадочных пород Токурского террейна.

Токурский террейн вытянут в субширотном направлении почти на 40 км при максимальной ширине 18–20 км. По сложным системам разломов он граничит с Галамским террейном на севере и с Се-

лемджино-Кербинским террейном Монголо-Охотского пояса на юге (рис. 1).

В строении Токурского террейна выделяются [1] следующие стратиграфические подразделения (снизу вверх). Условно верхнепермская токурская свита (1800 м) представлена метапесчаниками, глинистыми сланцами, метаалевролитами часто переслаивающимися, реже зелёными сланцами, седиментационными брекчиями. Учитывая, что свита прорвана массивами гранитов позднепермского ингаглинского комплекса, для неё условно принят [1, 3] позднепермский возраст. Условно верхнепермская экимчанская свита (800 м) согласно перекрывает токурскую и сложена глинистыми сланцами, метаалевролитами и пачками их тонкого ритмичного переслаивания [1, 3]. Вышележащая условно верхнепермская боконтинская толща (2150 м) представлена метапесчаниками, метаалевролитами, глинистыми сланцами, пачками их тонкого ритмичного переслаивания, седиментационными брекчиями, конгломератами [1, 3]. Ввиду близости составов экимчанской свиты и боконтинской толщи в последнем поколении геологических карт [1] эти стратонны объединены.

*Институт геологии и природопользования
Дальневосточного отделения Российской Академии наук,
Благовещенск*

*E-mail: sorokin@ascnet.ru

U–Pb-геохронологические исследования выполнены для детритовых цирконов из метатерригенных пород экимчанской (обр. V-22) и токурской (обр. V-56) свит. Места отбора образцов для геохронологических исследований показаны на рис. 1.

Выделение циркона выполнено в минералогической лаборатории ИГиП ДВО РАН с применением тяжелых жидкостей. U–Pb-геохронологические исследования индивидуальных цирконов выполнены в Геохронологическом Центре Аризонского Университета (Arizona LaserChron Center, USA) с использованием системы лазерной абляции Photon Machines Analyte G2 и ICP масс-спектрометра Thermo Element 2. Диаметр кратера составлял 20 мкм, глубина 15 мкм. Детали аналитической про-

цедуры приведены на сайте лаборатории (www.laserchron.org). Конкордантные возрасты (Concordia Ages) рассчитаны с использованием программы Isoplot v. 4.15 [4]. При построении гистограмм, кривых относительной вероятности возрастов детритовых цирконов и вычислении их пиков использовались только конкордантные ($\pm 2\sigma$) оценки возраста.

Из метапесчаника токурской свиты (обр. V-56) было проанализировано 121 зерно детритовых цирконов, для 98 из них получены конкордантные оценки возраста. Большинство цирконов имеет палеозойский (пики на кривой относительной вероятности 337, 373, 354 и 501 млн лет) и палеопротерозойский (пик 1954 млн лет) возрасты (рис. 2а), а наиболее молодое зерно — 326 ± 3 млн лет.

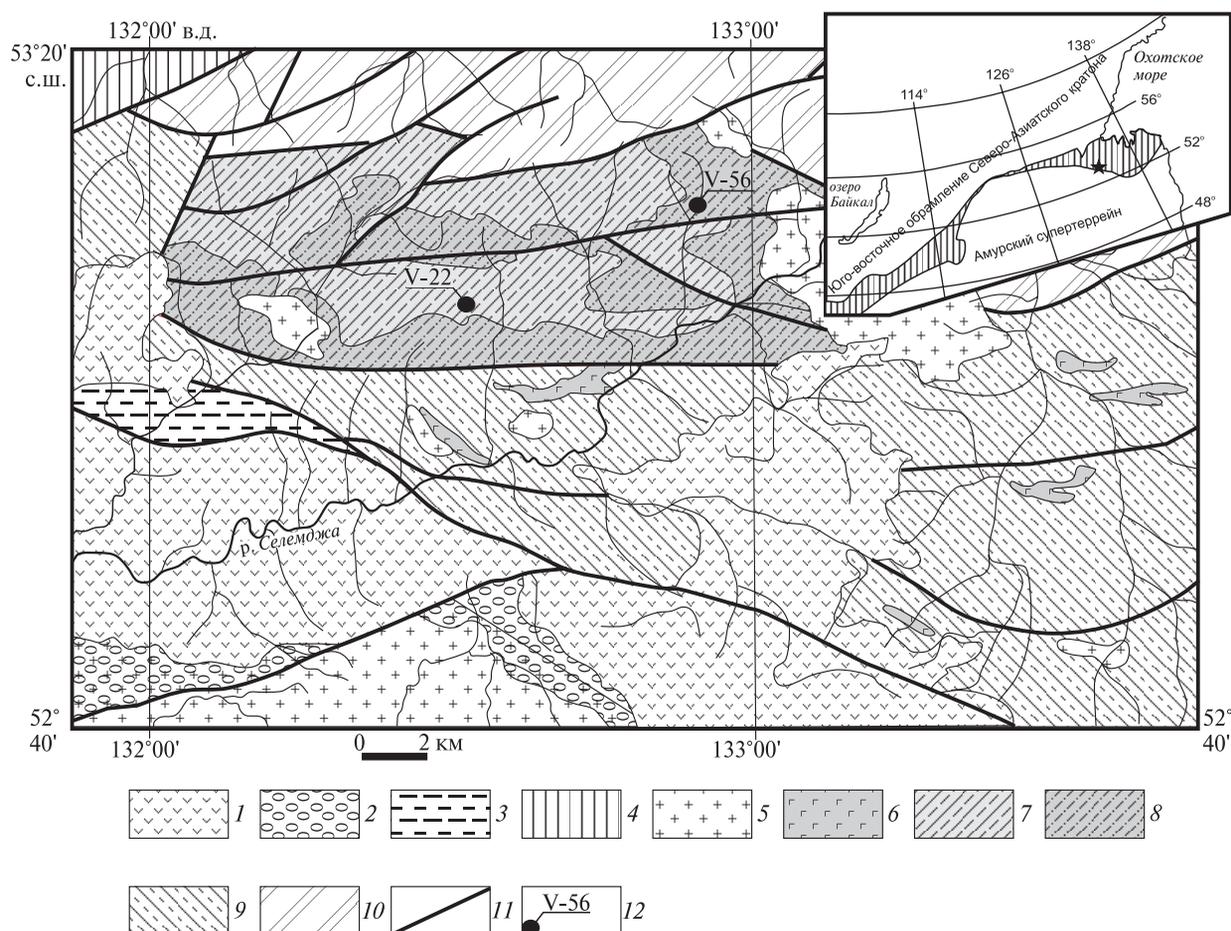


Рис. 1. Геологическая схема восточной части Монголо-Охотского складчатого пояса. Составлена по [1] с упрощениями авторов: 1 — раннемеловые вулканиты; 2 — нижнемеловые песчаники, углистые алевролиты, угли; 3 — среднеюрские алевролиты, песчаники, конгломераты; 4–9 — геологические комплексы Монголо-Охотского складчатого пояса: 4 — верхнетриасовые и нижнеюрские терригенные отложения Унья-Бомского террейна; 5 — позднепалеозойские гранитоиды; 6 — позднепалеозойские габбро, 7–8 — условно верхнепермские метатерригенные комплексы Токурского террейна: 7 — экимчанская свиты и боконтинская толща объединенные; 8 — токурская свита; 9 — условно каменноугольные метатерригенные, метавулканогенные комплексы Селемджино-Кербинского террейна; 10 — условно девонские метатерригенные, метавулканогенные комплексы Галамского террейна; 11 — главные разломы; 12 — места отбора образцов для геохронологических исследований и их номера. На врезке звёздочкой показан район исследований. Заштрихованной областью показан Монголо-Охотский складчатый пояс.

При анализе метаалевролита экимчанской свиты (обр. V-22) было проанализировано 127 зёрен детритовых цирконов, из которых для 116 кристаллов получены конкордатные оценки возраста. Возрасты цирконов находятся в интервале от 323 до 2558 млн лет с пиками на кривой относительной вероятности возрастов 339, 371, 1891 млн лет (рис. 2б). Подавляющее большинство цирконов имеет раннекаменноугольный возраст, а наиболее молодое зерно — 323 ± 3 млн лет.

Lu–Hf-изотопное изучение цирконов выполнено также в Геохронологическом Центре Аризонского Университета (Arizona LaserChron Center, USA) с использованием многоколлекторного масс-спектрометра с индукционно-связанной плазмой (MC–ICP–MS) Nu High-Resolution и эксимерного лазера Analyte G2. При этом Lu–Hf-изотопные анализы проводились в том же участке цирконов (в той же точке), что и U–Th–Pb-анализы. Диаметр лазерного пучка составлял 40 мкм, мощность лазера около 5 Дж/см², частота 7 Гц, скорость абляции около 0,8 мкм/с. Детали аналитической методики изло-

жены на сайте www.laserchron.org. Для расчёта величин $\epsilon_{\text{Hf}(t)}$ использованы константа распада ^{176}Lu ($\lambda = 1,867e^{-11}$) по [5], хондритовые отношения $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ (0,282772) и $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$ (0,0332) по [6]. Значения модельного возраста $t_{\text{Hf}(C)}$ рассчитаны, принимая среднее отношение $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$ в континентальной коре, равное 0,0093 [7]. Для расчета изотопных параметров деплетированной мантии использованы современные отношения $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf} = 0,28325$ и $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf} = 0,0384$ [8].

Lu–Hf-изотопные исследования выполнены для 17 зёрен цирконов из метапесчаников токурской свиты (обр. V-56) и 19 зёрен из метаалевролитов экимчанской свиты (обр. V-22). Результаты исследований приведены на рис. 3. Из приведенных результатов следует, что подавляющее большинство цирконов из метапесчаника токурской свиты (обр. V-56) и метаалевролита экимчанской свиты (обр. V-22) характеризуются палеопротерозойскими и архейскими модельными возрастными $t_{\text{Hf}(C)} > 1,6$ млрд лет. И лишь цирконам с возрастными в интервале 389–367 млн лет свойственны молодые модельные возрасты $t_{\text{Hf}(C)} = 1,4–0,8$ млрд лет (рис. 3).

Переходя к обсуждению полученных результатов, в первую очередь следует обратить внимание на то, что метаосадочные породы, выделяемые в качестве токурской и экимчанской свит, характеризуются сходными U–Pb-возрастными спектрами детритовых цирконов (рис. 2). Это подтверждает существующее предположение [1, 3] о том, что указанные свиты имеют близкий (или одинаковый) возраст. Наиболее молодой циркон в этих породах имеет U–Pb-возраст 326–323 млн лет, что определяет нижнюю возрастную границу протолита рассматриваемых пород. Верхняя возрастная граница свит в настоящее время является не столь определенной. При этом отметим, что токурская свита прорвана гранитоидами позднепермского (254 ± 4 , 251 ± 3 млн лет, [1]) ингаглинского комплекса.

В обеих изученных породах доминируют, согласно U–Pb-данным, цирконы раннекаменноугольного и палеопротерозойского возраста, при этом, большинство зёрен характеризуются раннедокембрийскими Hf-модельными возрастными. Это свидетельствует о том, что источниками этих цирконов являются магматические и метаморфические комплексы юго-восточного обрамления Северо-Азиатского кратона. В частности, поступление наиболее древних цирконов в область осадконакопления, по нашему мнению, связано с разрушением неархейских пород станового комплекса, протолиты которых имеют возраст 2,6–2,9 млрд лет,

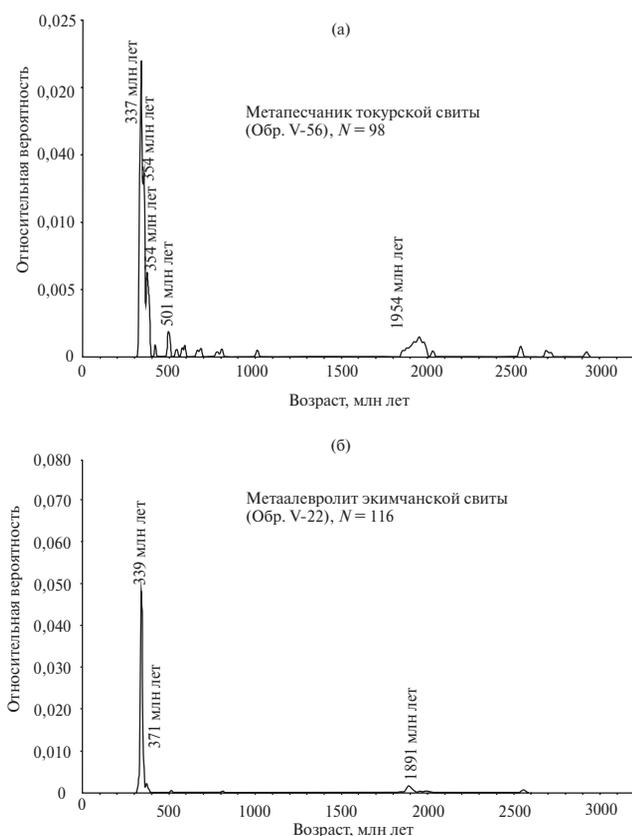


Рис. 2. Кривые относительной вероятности U–Pb-возрастов детритовых цирконов из метапесчаника (обр. V-56) токурской свиты (а) и метаалевролита (обр. V-22) экимчанской свиты (б). N — число анализов.

а также неорархейских и палеопротерозойских интрузий, претерпевших структурно-метаморфические преобразования на рубежах 2,6 и 1,9 млрд лет [9, 10]. В этой же части Северо-Азиатского кратона присутствуют интрузии и вулканические породы раннекаменноугольного возраста (см. обзор в [11]).

В отношении источников цирконов с возрастными интервалами 389–367 млн лет в метаосадочных породах Токурского террейна такая интерпретация маловероятна, поскольку эти цирконы характеризуются относительно более молодыми модельными возрастными $t_{\text{Hf}(C)} = 1,4\text{--}0,8$ млрд лет. Мы полагаем, что их источниками вполне могли быть девонские островодужные комплексы, существование которых предполагается практически во всех известных моделях формирования Монголо-Охотского пояса (см. обзор в [2]).

Как показывают результаты исследований детритовых цирконов из метатерригенных пород различных участков Монголо-Охотского складчатого пояса, в палеозойской истории последнего, вероятно, существовали разновозрастные и разнонаправленные зоны субдукции [12–15]. Полученные нами данные не противоречат этой идее. В рамках данной модели Токурский террейн может являться фрагментом палеозойского аккреционного комплекса, формирование которого произошло перед юго-восточной окраиной Северо-Азиатского кратона.

В целом результаты выполненных U–Pb (LA–ICP–MS) и Lu–Hf-изотопных исследований детритовых цирконов из условно пермских метаосадочных пород Токурского террейна позволяют сделать следующие выводы: 1) метаосадочные породы токурской и экимчанской свит характеризуются сходными

возрастными спектрами детритовых цирконов, что указывает на близкий (или одинаковый) возраст этих свит; 2) нижняя возрастная граница изученных свит определяется по возрасту наиболее молодых цирконов уровнем 326–323 млн лет. Оценкой верхней возрастной границы свит являются датировки 254–251 млн лет, отвечающие возрасту позднепермских гранитоидов, прорывающих эти свиты; 3) главными источниками цирконов в метаосадочных породах Токурского террейна являются магматические и метаморфические комплексы юго-восточного обрамления Северо-Азиатского кратона; 4) токурский террейн, по-видимому, является фрагментом палеозойского аккреционного комплекса, формирование которого произошло перед юго-восточной окраиной Северо-Азиатского кратона.

Благодарности. Авторы благодарят сотрудников Института геологии и природопользования ДВО РАН Е.Н. Воропаеву и О.Г. Медведеву и персонал Центра LaserChron Университета штата Аризона (США) за подготовку образцов и проведение изотопных исследований.

Источники финансирования. Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант № 18–17–00002).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Забродин В.Ю., Гурьянов В.А., Кисляков С.Г. и др.* Государственная геологическая карта Российской Федерации 1: 1000000. Сер. Дальневосточная. Лист N-53. Третье поколение. СПб.: ВСЕГЕИ, 2007.
2. *Парфенов Л.М., Попеко Л.И., Томуртоого О.* // Тихоокеан. геология. 1999. Т. 18. № 5. С. 24–43.
3. *Агафоненко С.Г., Сережников А.Н., Яшинов А.Л.* Государственная геологическая карта Российской Федерации 1:200 000. 2-е изд. Сер. Тугурская. Лист N-53-XXV (Экимчан) / под ред. А.В. Махинина. СПб.: ВСЕГЕИ, 2002.
4. *Ludwig K.R.* User's Manual for a Geochronological Toolkit for Microsoft Excel // Berkeley Geochronol. Center Spec. Publ. 2008. P. 1–75.
5. *Söderlund U., Patchett P.J., Vervoort J.D., et al.* // Earth and Planet. Sci. Lett. 2004. V. 219. P. 311–324.
6. *Blichert-Toft J., Albaredo F.* // Earth and Planet. Sci. Lett. 1997. V. 148. P. 243–258.
7. *Vervoort J.D., Patchett P.J.* // Geochim. et Cosmochim. Acta. 1996. V. 60. P. 3717–3723.
8. *Griffin W.L., Belousova E.A., Shee S.R., et al.* // Precamb. Res. 2004. V. 131. P. 231–282.
9. *Великославинский С.Д., Котов А.Б., Сальникова Е.Б. и др.* // ДАН. 2011. Т. 438. № 3. С. 355–359.

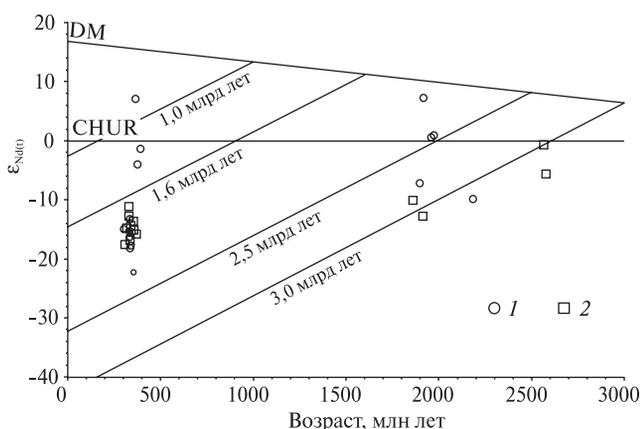


Рис. 3. Диаграмма $\epsilon_{\text{Hf}(t)}$ — возраст (млн лет) для цирконов из метапесчаника (обр. V-56) токурской свиты (1) и металавролита (обр. V-22) экимчанской свиты (2); DM — деплетированная мантия, CHUR — однородный хондритовый резервуар.

10. *Великославинский С.Д., Котов А.Б., Ковач В.П. и др.* // Геотектоника. 2017. № 4. С. 3–16.
11. *Великославинский С.Д., Котов А.Б., Ковач В.П. и др.* // ДАН. 2016. Т. 468. № 4. С. 425–428.
12. *Kelty T.K., Yin A., Dash B., et al.* // Tectonophysics. 2008. V. 451. P. 290–311.
13. *Bussien D., Gombojav N., Winkler W., Quadt A.* // Tectonophysics. 2011. V. 510. P. 132–150.
14. *Сорокин А.А., Колесников А.А., Котов А.Б., Ковач В.П.* // ДАН. 2014. Т. 454. № 6. С. 706–709.
15. *Сорокин А.А., Колесников А.А., Котов А.Б. и др.* // ДАН. 2015. Т. 462. № 5. С. 590–594.

**AGE AND SOURCES OF THE METASEDIMENTARY ROCKS
OF THE TOKUR TERRANE IN THE MONGOL-OKHOTSK FOLD BELT:
RESULTS OF THE U–Pb GEOCHRONOLOGICAL
AND Lu–Hf ISOTOPE STUDIES**

V. A. Zaika, Corresponding Member of the RAS A. A. Sorokin, A. P. Sorokin

*Institute of Geology and Natural Management of the Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences,
Blagoveshchensk, Russian Federation*

Received January 14, 2019

This paper presents the results of U–Pb (LA–ICP–MS) and Lu–Hf-isotope studies of detrital zircons from metasedimentary rocks of the Tokur Terrane. It has been shown that metasedimentary rocks of the Tokur and Ekimchan formations are characterized by similar age peaks of detrital zircons, which indicates a close (or same) age of these formations. The lower age of the sedimentation is determined by the age of the youngest zircons of 326–323 Ma. The upper age boundary is determined of 254–251 Ma, based on the intrusion of the Late Permian granitoids. The main sources of zircons in the metasedimentary rocks of the Tokur Terrane are the igneous and metamorphic complexes of the southeast framing of the North Asia Craton. The Tokur Terrane can be considered as a fragment of the Paleozoic accretionary complex, the formation in front of the southeastern margin of the North Asia Craton.

Keywords: Mongol-Okhotsk fold belt, Tokur terrane, metasedimentary rocks, U–Pb and Lu–Hf-isotopy, detrital zircons.