

УДК 550.93:552.4 (551.72)

ПЕСЧАНЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ ТОККИНСКОЙ ВПАДИНЫ БАЙКАЛЬСКОЙ РИФТОВОЙ ЗОНЫ: ИСТОЧНИКИ И ОБЛАСТИ СНОСА

© 2024 г. Т. М. Сквитина^{1,*}, член-корреспондент РАН А. Б. Котов², И. Н. Бучнев², В. П. Ковач²,
С. Д. Великославинский², Е. В. Толмачева², Е. В. Адамская²,
О. В. Бобровская³, В. А. Горовой¹

Поступило 13.12.2023 г.

После доработки 05.03.2024 г.

Принято к публикации 18.03.2024 г.

Представлены результаты U–Th–Pb (LA-ICP-MS)-геохронологических исследований детритового циркона из четвертичных песчаных отложений Токкинской впадины восточного фланга Байкальской рифтовой зоны. Показано, что их главными источниками были мезоархейские тоналит-гранодиоритовые ортоogneйсы и метавулканиды, а также мезо- и неоархейские син- и постколлизийные гранитоиды Чаро-Олёкминского геоблока Алданского щита, которые находятся вблизи от Токкинской впадины. Причём поступление осадочного материала в неё могло происходить в процессе таяния ледников, покрывавших Удоканское поднятие на юге и Кодарское поднятие на севере в среднее-позднечетвертичное время.

Ключевые слова: песчаные отложения, детритовый циркон, геохронология, Токкинская впадина, Байкальская рифтовая зона

DOI: 10.31857/S2686739724070034

Вопрос о происхождении четвертичных песков, широко распространённых в межгорных впадинах Прибайкалья был поставлен ещё в конце девятнадцатого-начале двадцатого веков И.Д. Черским (1886) и В.А. Обручевым (1914, 1929, 1937), и до сих пор считается из центральных вопросов при попытке понять основные черты развития рельефа Байкальской рифтовой зоны в кайнозой [1]. Для решения проблемы происхождения четвертичных песков является важным и необходимым: 1) идентифицировать источники и определить области сноса четвертичных песчаных отложений; 2) установить механизмы и пути переноса песчаных частиц от источников в бассейны седиментации; 3) получить информацию о природе транспортирующих процессов, осуществлявших перенос рыхлого материала; 4) реконструировать среды и палеогеографические условия накопления этих осадков.

Для решения первой задачи, а именно идентификации источников и определения областей сноса терригенного материала четвертичных отложений во впадинах Байкальской рифтовой зоны одним из наиболее эффективных подходов является геохронологическое изучение (U–Th–Pb-метод, (LA-ICP-MS)) зёрен детритового циркона. Кроме того, результаты этих исследований позволяют получить информацию о возрастных рубежах формирования континентальной коры южной части Сибирского кратона и сопредельных территорий Центрально-Азиатского складчатого пояса.

В настоящей статье в этом плане обсуждаются результаты U–Th–Pb (LA-ICP-MS)-геохронологических исследований зёрен детритового циркона из четвертичных песчаных отложений Токкинской впадины, которая является терминальной на восточном фланге Байкальской рифтовой зоны. Эта впадина не может считаться “полноценной” рифтовой впадиной, так как не имеет ярко проявленного морфологического выражения, типичного для других впадин байкальского типа, о чём свидетельствуют её “грубоугловатые очертания и изометричность” [1]. По-видимому, правильно относить её к промежуточному звену

¹Институт земной коры Сибирского отделения Российской Академии наук, Иркутск, Россия

²Институт геологии и геохронологии докембрия Российской Академии наук, Санкт-Петербург, Россия

³Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

*E-mail: tatiana_skovitina@mail.ru

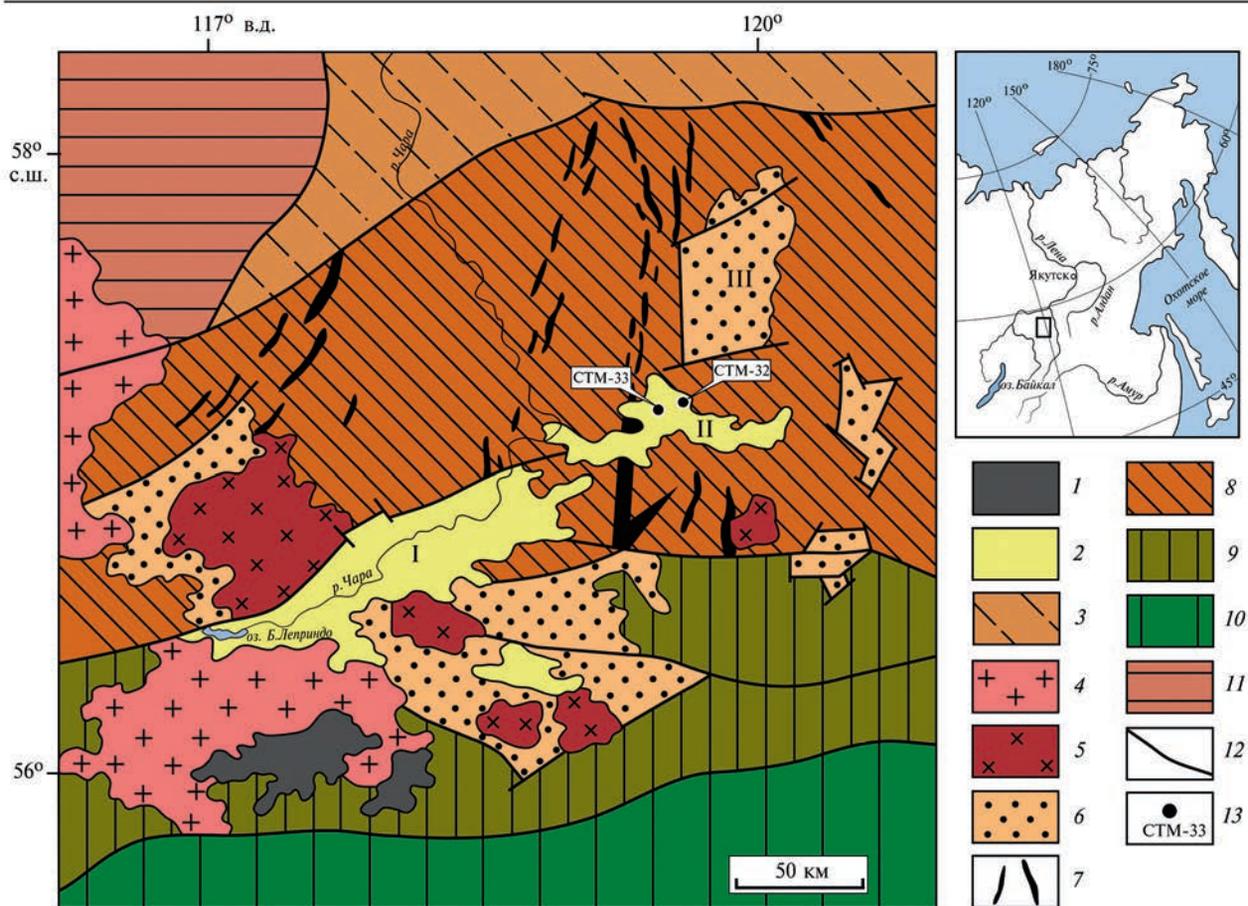


Рис. 1. Схема геологического строения западной части Алданского щита. 1 – кайнозойские платобазальты (N₂-Q); 2 – кайнозойские песчаные отложения рифтовых впадин; 3 – мезозойские, палеозойские и неопротерозойские платформенные отложения; 4 – фанерозойские гранитоиды; 5 – палеопротерозойские граниты кодарского комплекса; 6 – палеопротерозойские метаосадочные породы удоканской серии; 7 – слабо метаморфизованные осадочные и вулканические породы мезоархейских зеленокаменных поясов субганского комплекса; 8 – мезо- и палеорхейские тоналит-трондьемитовые ортогнейсы и мезоархейские интрузивные гранитоиды Чаро-Ол'кминского геоблока Алданского щита; 9 – зона сочленения Алданского щита и Центрально-Азиатского подвижного пояса (Становой структурный шов); 10 – Селенгино-Становой супертеррейн Центрально-Азиатского подвижного пояса; 11 – Байкало-Патомская область; 12 – разрывные нарушения; 13 – места отбора проб для геохронологических исследований и их номера. Римскими цифрами обозначены: I – Чарская впадина, II – Токкинская впадина, III – Угуйский грабен.

между большими и малыми впадинами Байкальской рифтовой зоны [2]. Более ёмкая характеристика структурных и тектонических особенностей, анализ рельефа и связанных с ним осадочных и вулканогенных образований, а также закономерности соотношения древней и кайнозойской структур на восточном фланге Байкальской рифтовой зоны и относящейся к нему Токкинской рифтовой впадины, представлены в работах ([1–6] и др.).

Строение геологического субстрата, на котором развивается Токкинская впадина определяется сопряжением в этом районе древнейших структурных элементов и магматических комплексов западной части Алданского щита (рис. 1).

Новейшая рифтовая структура Токкинской впадины является наложенной и ориентирована ортогонально по отношению к главному структурному плану западной части Алданского щита [3–6].

Протяжённость впадины составляет около 80 км, ширина от 10 до 30 км. Она расположена восточнее Чарской рифтовой впадины, образуя совместно с ней протяжённую отрицательную морфоструктуру, и отделена от последней невысокой (1000–1400 м) межвпадинной перемычкой. Наименьшие абсолютные отметки днища Токкинской впадины (580–620 м) располагаются в её западной части (бассейн р. Токко), достигая 700 м и более в восточной части (бассейн р. Чороуд). Она состоит из трёх

котловин – Тарын-Уряхской, Токкинской и Чо-роудинской, представляющих собой единую морфоструктуру, называемую Токкинской впадиной [3]. С юга и юго-востока она так же, как и соседняя Чарская впадина, ограничена поднятием хр. Удокан (максимальные высотные отметки до 2500 м), а с севера и северо-запада альпийно-типным хребтом Кодар (максимальные высотные отметки до 3000 м и выше).

Токкинская впадина выполнена четвертичными отложениями различных генетических типов, среди которых наиболее крупные площади занимают ледниковые и флювиогляциальные, и в меньшей степени аллювиальные, озёрные и пролювиальные комплексы [3]. Мощность рыхлых отложений в наиболее погруженных частях впадины достигает 500 м [5], а общий объём кайнозойских отложений оценен в 370 км³ [6].

Для U–Th–Pb (LA-ISP-MS)-геохронологических исследований использован детритовый циркон из двух проб четвертичных песков Токкинской впадины (проба СТМ-32 из озёрных береговых отложений; СТМ-33 из отложений речного аллювия), место отбора которых показано на рис. 1. Выделение циркона из этих проб проведено в ИГГД РАН (г. Санкт-Петербург) по стандартной методике с использованием тяжёлых жидкостей. Изучение морфологических особенностей циркона выполнено в ИГГД РАН с помощью сканирующего электронного микроскопа TESCAN VEGA 3 с BSE- и CL-детекторами. Для изучения включений минералообразующих сред в цирконе использован оптический микроскоп Olympus BX-41 с высокотемпературным термостоликом TS1400XY, температурным контролёром TO95-STO и системой охлаждения LMP95 (ИГГД РАН). Геохронологические исследования детритового циркона проводились из размерных фракций более 85 мкм.

U–Th–Pb (LA-ICP-MS)-геохронологические исследования циркона выполнены в ИГГД РАН с помощью системы лазерной абляции NWR-213 с камерой TwoVolumeTwo, совмещённой с ICP масс-спектрометром ELEMENT XR. Диаметр “пучка” лазера составлял 25 мкм, длительность измерения – 100 с (40 с – холостой по газу, 60 с – абляция). Калибровка производилась по стандартному циркону GJ-1 [7]. Для контроля качества аналитических данных использованы фрагменты кристаллов стандартного циркона Harvard 91500 и Plešovice. Для стандартного циркона Harvard 91500 в ходе исследований получены средневзвешенные оценки возраста по отношению $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ – 1068±5 млн лет

(2s, n = 40, СКВО = 0.44, вероятность = 0.999) и по отношению $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ – 1067±6 млн лет (2s, n = 40, СКВО = 0.080, вероятность = 1.000). Для стандартного циркона Plešovice в ходе исследований получена средневзвешенная оценка возраста по отношению $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ – 336±2 млн лет (2s, n = 43, СКВО = 0.23, вероятность = 1.000). Полученные для стандартов циркона значения возраста хорошо совпадают с рекомендованными данными (Harvard 91500: $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ – 1066.01±0.61 млн лет, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ – 1063.51±0.39 млн лет; Plešovice: $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ – 337±2 млн лет) [8]. Изотопные U–Th–Pb-отношения рассчитаны в программе GLITTER 4.0 GEMOC [9]. Поправки на обычный свинец вводились с помощью программы ComPb [10]. Расчёт конкордантных возрастов (Concordia Ages) производился в программе IsoplotR [11]. Для построения гистограмм, кривых относительной вероятности распределения возрастов и расчёта максимумов возрастов (Peak Ages) [12] использованы только конкордантные ($D \leq 5\%$) оценки возраста циркона.

Детритовый циркон из четвертичных песков Токкинской впадины представлен округлыми зёрнами, главная особенность строения которых определяется присутствием ядер, окружённых тонкой оболочкой. Большинство ядер циркона характеризуются отчётливо выраженной тонкой и грубой осцилляторной зональностью, характерной для циркона магматического генезиса. Кроме того, в них присутствуют частично и полностью раскристаллизованные расплавные включения. В оболочках циркона, которые, как правило, имеют однородное строение, обнаружены только газово-жидкие, часто декрипитированные, включения, что указывает на их метаморфическое происхождение.

Полученные результаты геохронологических исследований детритового циркона из четвертичных песков Токкинской впадины приведены на рис. 2. Необходимо подчеркнуть, что эти результаты относятся к ядрам зёрен детритового циркона, поскольку изучение оболочек не представляется возможным в силу технологических особенностей использованного метода геохронологических исследований.

Для геохронологических исследований детритового циркона из пробы СТМ-32 использовано 50 зёрен этого минерала, для которых получено 12 конкордантных оценок возраста. Они находятся в интервале 2706–2829 млн лет. На диаграмме относительной вероятности распределения возрастов отчётливо выделяются два

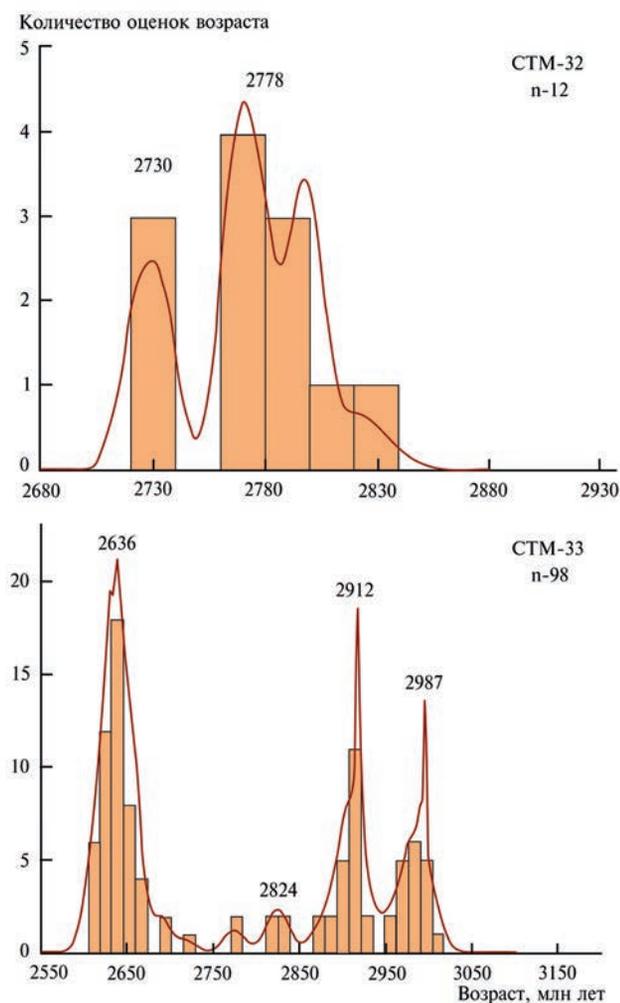


Рис. 2. Гистограммы распределения и кривые относительной вероятности возрастов детритового циркона из четвертичных песков Токкинской впадины (пробы СТМ-32 и СТМ-33).

максимума – 2730 и 2778 млн лет (рис. 2). Геохронологические данные для детритового циркона из пробы СТМ-33 получены для 120 зёрен. 98 зёрен циркона характеризуются конкордантными оценками возраста в интервалах 2583–2720, 2745–2748 и 2790–3033 млн лет. На диаграмме относительной вероятности распределения возрастов максимумы приходятся на 2636 млн лет (47 зёрен), 2824 млн лет (4 зерна), 2912 млн лет (21 зерно) и 2987 млн лет (17 зёрен) (рис. 2).

Как видно на диаграммах, возраст детритового циркона из четвертичных песков Токкинской впадины находится в интервале 2.6–3.0 млрд лет. Не вызывает сомнений, что их главными источниками были мезоархейские тоналит-трондьемитовые ортогнейсы и метавулканиды (2967 ± 10 – 3212 ± 8 млн лет), а также мезо-

неоархейские син- и постколлизийные гранитоиды Чаро-Олёкминского геоблока (2738 ± 8 – 2913 ± 8 , 2608 ± 18 – 2675 ± 15 млн лет) Алданского щита (см. обзоры в [13, 14]), окружающие Токкинскую впадину.

Обращает на себя внимание, что в четвертичных песках Токкинской впадины отсутствует детритовый циркон раннепротерозойского возраста, а также детритовый циркон палеозойского возраста, которые были установлены в песчаных отложениях Чарской впадины [15], восточная граница последней расположена примерно в 15–20 км от западной границы Токкинской впадины. Это можно объяснить существованием перемычки между указанными впадинами, о которой упоминалось в начале статьи. Так же мы обратили внимание на отсутствие в изученных песчаных пробах раннепротерозойского детритового циркона, который, наряду с детритовым цирконом архейского возраста, является существенным компонентом раннепротерозойских песчаников Угуйского грабена [16], расстояние до которого от северной границы Токкинской впадины составляет около 20 км.

По-видимому, перенос осадочного материала в пределах впадины осуществлялся на небольшое расстояние, которое не превышало первых десятков километров. В отличие от соседней Чарской впадины, поступление осадочного материала в которую осуществлялось из более удалённых источников [15], накопление песчаных отложений в Токкинской впадине происходило из проксимальных источников. Вполне возможно, что активно поступление осадочного материала во впадину могло происходить в процессе таяния ледников, покрывавших Удоканское поднятие на юге и Кодарское поднятие на севере в среднее-позднечетвертичное время. Как уже было отмечено выше, что наиболее крупные площади Токкинской впадины занимают именно ледниковые и флювиогляциальные отложения [3].

Следует также отметить, что полученные данные подтверждают представление [13] о том, что формирование континентальной коры центральной части Чаро-Олёкминского геоблока Алданского щита связано главным образом с мезоархейским и неоархейским этапами его геологического развития.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают глубокую благодарность ведущему инженеру Института земной коры СО

РАН Н.В. Тирских за помощь в подготовке иллюстраций к статье; А.И. Мисюре и М.В. Бережко за всестороннюю помощь в проведении полевых исследований.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Исследования выполнены в рамках проекта РНФ № 19-17-0020521 и НИР ИГГД РАН FMUW-2022-0003.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Логачев Н. А., Антощенко-Оленев И. В., Базаров Д. Б., Галкин В. И., Голдырев Г. С., Ендрихинский А. С., Золоторев А. Г., Сизиков А. И., Уфимцев Г. Ф. Нагорья Прибайкалья и Забайкалья. М.: Наука, 1974. 359 с.
2. Солоненко В. П., Тресков А. А., Курушин Р. А., Мишарина Л. А., Павлов О. В., Пшеничников К. В., Солоненко М. А., Фомина Е. В., Хилько С. Д. Живая тектоника, вулканы и сейсмичность Станового нагорья. М.: Наука, 1966. 231 с.
3. Имаева Л. П., Мельникова В. И., Имаев В. С., Козьмин Б. М., Мельников А. И. Эволюция сейсмотектонических процессов восточного фланга Байкальской рифтовой зоны. Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2012. 170 с.
4. Замараев С. М., Васильев Е. П., Мазукабзов А. М., Ружич В. В., Рязанов Г. В. Соотношение древней и кайнозойской структур в Байкальской рифтовой зоне. Новосибирск: Наука, 1979. 126 с.
5. Геология и сейсмичность зоны БАМ. Структурно-вещественные комплексы и тектоника. Новосибирск: Наука, 1983. 189 с.
6. Логачев Н. А. История и геодинамика Байкальского рифта // Геология и геофизика. 2003. Т. 144. № 5. С. 510–513.
7. 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.
8. Horstwood M. S. A., Košler J., Gehrels G., Jackson S. E., McLean N. M., Paton Ch., Pearson N. J., Sircombe K., Sylvester P., Vermeesch P., Bowring J. F., Condon D. J., Schoene B. Community-Derived Standards for LA-ICP-MS U–(Th–)Pb Geochronology – Uncertainty Propagation, Age Interpretation and Data Reporting // Geostandards and Geoanalytical Research. 2016. V. 40. P. 311–332.
9. Van Achterbergh E., Ryan C. G., Jackson S. E., Griffin W. L. LA-ICP-MS in the Earth sciences – appendix 3, data reduction software for LA-ICP-MS / In: Sylvester P. J. (Ed.). St. John's, Canada: Short Course Mineralogical Assoc., 2001. V. 29. P. 239–243.
10. Andersen T. Correction of common lead in U–Pb analyses that do not report 204Pb // Chem. Geol. 2002. V. 192. P. 59–79.
11. Vermeesch P. IsoplotR: a free and open toolbox for geochronology // Geoscience Frontiers. 2018. V. 9. P. 1479–1493.
12. Gehrels G. E. Detrital zircon U–Pb geochronology: current methods and new opportunities. // In: Busby, C., Azor, A. (Eds.). Tectonics of Sedimentary Basins: Recent Advances. Chichester, UK: Wiley-Blackwell, 2012. P. 47–62.
13. Котов А. Б. Граничные условия геодинамических моделей формирования континентальной коры Алданского щита / Автореф. дис. ... докт. геол.-мин. наук. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2003. 78 с.
14. Kovach V., Adamskaya E., Kotov A., Podkovyrov V., Tolmacheva E., Gladkochub D., Sklyarov E., Velikoslavinsky S., Plotkina Y., Skovitina T., Wang K.-L., Lee H.-Y., Gorokhovskiy B. Age of provenance for the Palaeoproterozoic Kamen Group, Udokan Complex: Newly recognised Palaeoproterozoic crust-forming event in the western Aldan Shield, Siberian Craton // Precambrian Research. 2023. 396. 107158.
15. Сковитина Т. М., Котов А. Б., Лопатин Д. В., Ковач В. П., Бучнев И. Н., Адамская Е. В., Бобровская О. В. Источники позднекайнозойских отложений эолового массива «Пески» Чарской впадины Байкальской рифтовой зоны: первые результаты U–Th–Pb (La–ICP–MS) геохронологических исследований детритового циркона // ДАН. Науки о Земле. 2023. Т. 510. № 1. С. 11–17.
16. Ковач В. П., Самсонов А. В., Котов А. Б., Сальникова Е. Б., Адамская Е. В., Бортников В. В., Степанова А. В., Ерофеева К. Г., Плоткина Ю. В., Федосеев А. М., Сковитина Т. М. Аркозовые песчаники кебектинской серии Угуйского грабена (Алданский щит): возраст, источники и обстановки накопления // ДАН. Науки о Земле. 2023. Т. 512. № 1. С. 12–20.

SAND DEPOSITS IN THE TOKKO BASIN OF THE BAIKAL RIFT ZONE: SOURCES AND PROVENANCE AREAS

**T. M. Skovitina^{a,#}, Corresponding Member of the RAS A. B. Kotov^b, I. N. Buchnev^b,
V. P. Kovach^b, S. D. Velikoslavinskii^b, E. V. Tolmacheva^b,
E. V. Adamskaya^b, O. V. Bobrovskaya^c, V. A. Gorovoy^a**

^a*Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russian Federation*

^b*Institute of Precambrian Geology and Geochronology, Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russian Federation*

^c*St. Petersburg University, St. Petersburg, Russian Federation*

[#]*E-mail: tatiana_skovitina@mail.ru*

The paper presents the results of U-Th-Pb (LA-ICP-MS) geochronological studies of detrital zircon from Quaternary sands of the Tokko basin on the eastern flank of the Baikal rift zone. The study shows, that their main sources were Mesoarchean tonalite-trondhjemite orthogneisses and metavolcanics, as well as Meso- and Neoproterozoic syn- and post-collision granitoids of the Chara-Olekma geoblock of the Aldan shield, which are located near the Tokko basin. Moreover, the supply of sedimentary material into it could have occurred during the melting of glaciers that covered the Udokan Uplift in the south and the Kodar Uplift in the north in the Middle-Late Quaternary.

Keywords: sand deposits, detrital zircon, geochronology, Tokko basin, Baikal rift zone