

УДК 550.93:552.313:551.72(571.620)

ПАЛЕОПРОТЕРОЗОЙСКИЙ ВОЗРАСТ (2055–2050 МЛН ЛЕТ) ВУЛКАНОГЕННО-ТЕРРИГЕННЫХ ПОРОД БИЛЯКЧАНСКОЙ ЗОНЫ СОЧЛЕНЕНИЯ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ И ОХОТСКОГО МАССИВА

© 2020 г. В. К. Кузьмин¹, Е. С. Богомолов^{1,2}, член-корреспондент РАН А. Б. Кузнецов^{2,*}

Поступило 03.03.2020 г.

После доработки 25.03.2020 г.

Принято к публикации 30.03.2020 г.

Впервые установлен возраст биякчанской серии, представляющей северный фрагмент Улкано-Биякчанского вулканоплутонического пояса в зоне сочленения Охотского массива и Сибирской платформы (2055–2050 млн лет). Этот возраст определен в соответствии с U–Pb-возрастом прорывающих лейкогранитов нудымийского комплекса (2050 ± 3.3 млн лет) и самой молодой популяции обломочных зерен циркона из песчаников биякчанской серии (2054 ± 9 млн лет). В области сноса Биякчанского грабена преобладали породы раннепалеопротерозойского возраста (2110–2050 млн лет). Биякчанская серия оказалась древнее (на 300–350 млн лет) улканского вулканоплутонического комплекса, с которым коррелировалась ранее. Заложение Биякчанского грабена отражает этап отделения Охотского массива от Сибирской платформы в раннем палеопротерозое.

Ключевые слова: палеопротерозой, песчаники, граниты, циркон, геохронология

DOI: 10.31857/S2686739720060092

Биякчанская зона сочленения юго-восточной окраины Сибирской платформы и Омолон-Охотского кратона представляет собой узкую субмеридиональную полосу слабо метаморфизованных вулканогенно-терригенных пород биякчанской серии и прорывающих их гранитоидов нудымийского комплекса [1–3]. Эти породы слагают около 80% Биякчанского поднятия, которое вытянуто вдоль северных отрогов хр. Джугдур на 230 км от истоков р. Большой Комуи до верховьев р. Мая (рис. 1).

В современных схемах Биякчанское поднятие рассматривается как северная часть Улкано-Биякчанского вулканоплутонического пояса протяженностью более 750 км. Формирование этого пояса связывают с этапом внутриплитного растяжения фундамента Сибирской платформы в позднекарьельское время. Возраст вулканогенных отложений улканской серии и улканских гранитоидов, расположенных в южной части пояса, сегодня определен с высокой точностью (1736–1705 млн лет) [4–7]. Слабая изученность вулканогенно-терригенных

отложений Биякчанского поднятия не позволяет провести надежную корреляцию с хорошо изученными отложениями в юго-западной части Улкано-Биякчанского пояса.

По данным геолого-съёмочных работ и наших исследований северная часть пояса существенно отличается от южных районов [2, 3, 8–10]. В северной части преобладают терригенные породы, вулканы и гранитоиды распространены ограниченно, а анортозиты отсутствуют. В отличие от неметаморфизованных отложений Улканского прогиба, породы Биякчанского поднятия дислоцированы и метаморфизованы в условиях зеленосланцевой фации. Вулканогенно-терригенные породы Биякчанского поднятия сопоставляются с разными отложениями рифея [12], нижнего протерозоя [9, 11] и архея [8]. Так, по [8], нижняя часть разреза биякчанской серии (нельбачанская свита) принадлежит к позднеархейским троговым образованиям и сходна с зеленокаменными комплексами Алданского щита, а верхняя часть (биякчанская свита) – к раннепротерозойской платформенной удоканской серии Алданского щита. Убедительные геологические доказательства правомерности подобных корреляций отсутствуют, а немногочисленные K–Ar-датировки варьируют от 2300 до 1600 млн лет [2, 3, 9].

В этой работе для решения вопроса о времени формирования пород Биякчанского поднятия было проведено изотопно-геохронологическое

¹ *Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия*

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

*E-mail: antonbor9@mail.ru

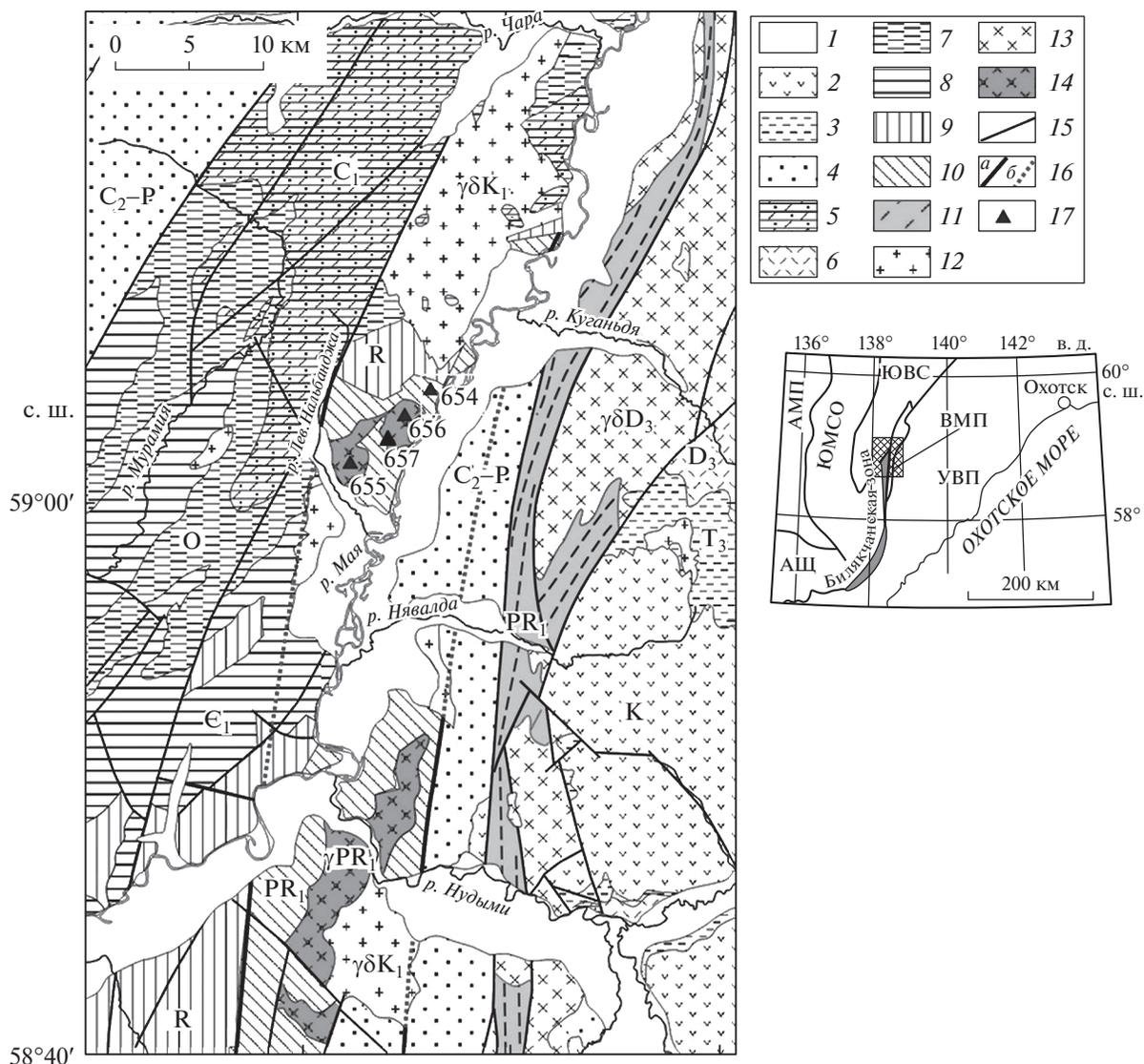


Рис. 1. Геологическая схема Билякчанской зоны сочленения Сибирской платформы и Охотского массива (по Геологическая... [2] с дополнениями и изменениями). 1 – Пески, суглинки, галечники (Q); 2 – конгломераты, дациты, андезиты, андезибазальты, туфы среднего и кислого состава (K); 3 – песчаники, алевролиты, конгломераты (Т₃); 4 – песчаники, алевролиты, аргиллиты, конгломераты (С₂-Р); 5 – известняки, аргиллиты, песчаники (С₁); 6 – игнимбриты, липариты, дациты, андезиты, туфы, туфоконгломераты (D₃); 7 – песчаники, алевролиты, известняки (O); 8 – известняки, доломиты, аргиллиты (Є₁); 9 – известняки, доломиты, песчаники, алевролиты, аргиллиты, конгломераты (RF-V); 10 – билякчанская серия: песчаники, конгломераты, базальты, андезито-базальты (PR₁); 11 – верхнемайская серия: гранат-биотитовые, силлиманит-гранат-кордиерит-биотитовые сланцы, гнейсы, амфиболиты (PR₁); 12 – гранодиориты, граносиениты, гранит-порфиры (K); 13 – майский комплекс: граносиениты, монзониты, субщелочные граниты, гранодиориты (D₃); 14 – нудымийский комплекс: гранодиориты, граниты, лейкограниты, граносиениты (PR₁); 15 – тектонические нарушения; 16 – тектонические границы Билякчанской зоны: (a) установленные, (б) предполагаемые, 17 – место отбора образцов. Сокращения на врезке: АШ – Алданский шит, АМП – Алдано-Майский прогиб, ЮМСО – Юдомо-Майская складчато-глыбовая область, ЮВС – Южно-Верхоянский синклиорий, ВМП – Верхнемайское поднятие, УВП – Ульинский вулканогенный прогиб.

изучение песчаников и базальтов билякчанской серии и прорывающих гранитов нудымийского комплекса в северной части пояса. Изученный участок (8 × 11 км) расположен на водораздельных хребтах по правобережью р. Мая и р. Левая Нябалджа (рис. 1), где обнажаются вулканогенно-осадочные породы левонябалджанской тол-

щи и прорывающие их гранитоиды одноименного массива нудымийского комплекса.

Левонябалджанская толща сложена преимущественно кварцевыми и полевошпат-кварцевыми песчаниками с прослоями алевролитов и глинистых сланцев. Среди терригенных отложений

часто встречаются пачки базальтов, андезито-базальтов, долеритов, а также небольшие дайки габбро-диабазов и кварцевых порфиров. Базальты сохранили афировую и порфировую структуру. Основная масса состоит из микролитов плагиоклаза, изометричных зерен клинопироксена, магнетита и перекристаллизованного основного стекла. Вкрапленники (10–30%) в базитах представлены удлинёнными лейстами плагиоклаза (лабрадор № 55–65) и изометричными кристаллами клинопироксена.

Левонябальджанский массив состоит из двух тел площадью около 35 км², сложенных лейкогранитами, гранитами, плагиогранитами, гранодиоритами, субщелочными гранитами и граносиенитами. В краевой части массива наблюдаются мелкозернистые разновидности гранитов с ксенолитами основных вулканитов. В экзоконтактовой зоне вмещающие породы ороговикованы. Граниты представлены розовато-серыми и розовыми массивными разновидностями с порфировидной и гранобластовой структурами, иногда с реликтами гипидиоморфнозернистой. В составе гранитов преобладает кислый плагиоклаз (25–48%), кварц (25–45%), калиевый полевой шпат (15–30%) и биотит (1–10%). Акцессорные минералы представлены магнетитом, титаномagnetитом, сфеном, цирконом, апатитом.

U–Pb-возраст циркона из лейкогранитов (обр. № 655e) нудымийского комплекса, прорывающих терригенные отложения билякчанской серии, определен на SHRIMP-II в ЦИИ ВСЕГЕИ по методике [13]. Длинно- и короткопризматические кристаллы циркона имеют темно-розовую окраску. Длина кристаллов от 60 до 400 мкм, коэффициент удлинения 1.3–3.0. В катодолюминесцентном (КЛ)-свечении выделяются темные ядра и темно-серые каймы. В центральных частях кристаллов наблюдается слабо выраженная полосчатая зональность, изредка отмечаются включения расплавленного генезиса. Содержание U изменяется от 1336 до 1921 г/т, а отношение Th/U – от 0.15 до 0.20. Морфологические и геохимические признаки этого циркона свидетельствуют о его магматическом генезисе. U–Pb SHRIMP-II-анализ проводился в центральной и краевой частях зерен. Вычисленный по семи точкам средневзвешенный возраст 2050 ± 3.3 млн лет (рис. 2) соответствует стадии кристаллизации Левонябальджанской интрузии гранитов нудымийского комплекса.

U–Pb-возраст обломочных зерен циркона из песчаников билякчанской серии (обр. № 654к) определен в ЦИИ ВСЕГЕИ методом лазерной абляции на ICP MS Neptune. Выделенные зерна циркона имеют темно-розовую окраску. Преобладают мелкие (50–120 мкм) зерна овальной формы, а крупные призматические кристаллы (100–

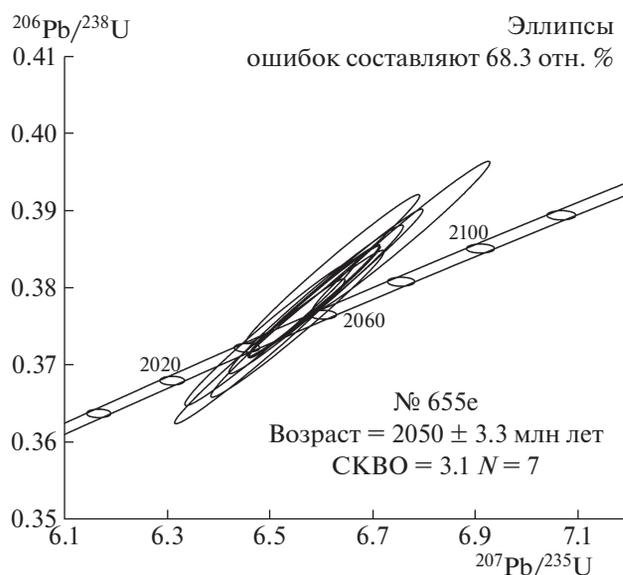


Рис. 2. U–Pb диаграмма с конкордией для палеопротерозойских лейкогранитов нудымийского комплекса.

380 мкм, K_y 1.5–2.4) встречаются реже. В КЛ-изображении наблюдается циркон с грубой и тонкой осцилляционной зональностью, а также зерна с секториальной зональностью и незональные. Вычисленный $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ -возраст (48 точек с дискордантностью менее 10%) варьирует от 2029 до 2814 млн лет (рис. 3). Среди древних популяций циркона обнаружено одно зерно с архейским возрастом 2814 ± 14 млн лет и шесть зерен с палеопротерозойским возрастом от 2390 ± 5 до 2203 ± 78 млн лет. Наибольшее количество зерен (41 шт), образует два кластера с возрастом 2110 ± 13 и 2054 ± 9 млн лет (рис. 3 и 4). Зерна одной из молодых популяций характеризуются отношением Th/U от 0.41 до 1.22, а циркон самой молодой группы отличаются пониженным отношением Th/U (0.2–1.0).

Эти данные указывают на формирование терригенных пород билякчанской серии преимущественно за счет размыва палеопротерозойского источника. Возраст самой молодой группы обломочных зерен циркона – 2054 ± 9 млн лет – определяет нижний возрастной порог образования песчаников билякчанской серии.

Изотопный состав Sm и Nd в магматических и осадочных породах определен в ИГГД РАН по методике [14, 15]. Значения $\epsilon_{\text{Nd}}(T)$ в базальтах и андезибазальтах равны –4.5 и –4.4, а в гранодиоритах и лейкогранитах варьируют от –5.0 до –5.4. Модельный Sm–Nd-возраст базитов варьирует в пределах 2690–2880 млн лет, а гранитоидов – 2750–2780 млн лет (табл. 1).

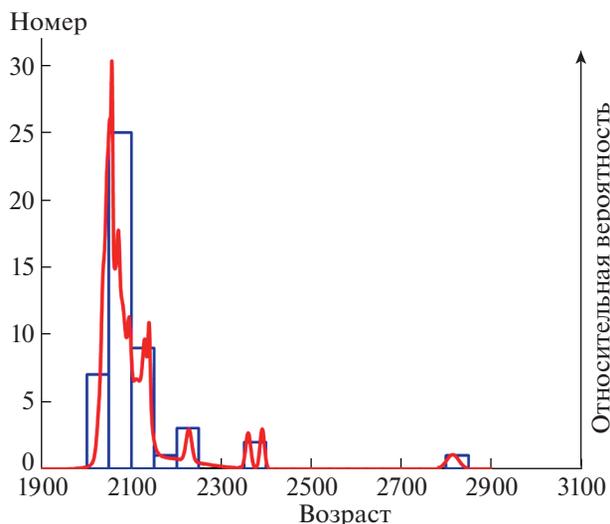


Рис. 3. Гистограмма распределения $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ -возрастов и кривые относительной вероятности возрастов детритового циркона из палеопротерозойских песчаников билякчанской серии (р. Левая Няльбанджа).

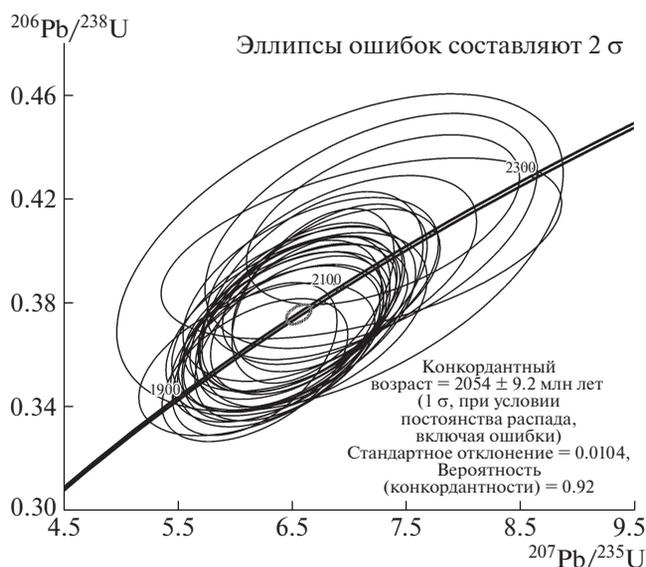


Рис. 4. Средневзвешенный возраст, рассчитанный по кластеру возрастов молодой популяции циркона.

Эти Sm–Nd-данные свидетельствуют, вероятнее всего, о неархейском коровом источнике исследуемых гранитоидов. На возможное присутствие в регионе пород этого возраста указывает также наличие в палеопротерозойских осадочных породах детритового циркона с наиболее древними значениями возраста 2814 ± 14 млн лет. Что касается вулканических пород, то Nd-изотопные данные явно указывают на обогащенный LREE мантийный источник. В качестве такового может выступать как субконтинентальная литосферная мантия, так и вещество sublitosферной мантии,

в значительной мере контаминированное веществом архейской коры. Изотопный состав Nd полевошпат-кварцевых песчаников (ϵ_{Nd} 0.9–2.8 и t_{NdDM} 2.2–2.4 млрд лет) указывает на разрушение пород близких по составу к ювенильной коре или островных дуг (табл. 1), что хорошо коррелируется с данными по возрасту детритового циркона.

Приведенные результаты свидетельствуют, что обломочный материал, заполнявший Билякчанский грабен, формировался при размыве однородной провинции исключительно раннепа-

Таблица 1. Результаты Sm–Nd-анализа песчаных и магматических пород Билякчанского поднятия (значения $\epsilon_{Nd}(T)$ рассчитаны на возраст 2050 млн лет)

Проба	Порода	Sm(г/г)	Nd(г/г)	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	t_{DM} (млн лет)	$\epsilon_{Nd}(T)$
654а	песчаник	0.95	5.10	0.1124	0.511545 ± 8	2410	0.9
654б	песчаник	0.94	5.19	0.1040	0.511529 ± 5	2240	2.8
654к	песчаник	1.41	8.09	0.1054	0.511487 ± 7	2330	1.6
655д	гранит	2.35	14.7	0.0966	0.511029 ± 5	2750	–5.0
655е	лейкогранит	11.6	84.4	0.0835	0.510837 ± 3	2690	–5.4
656а	гранодиорит	7.51	39.0	0.1164	0.511300 ± 5	2880	–5.0
657е	базальт	13.1	73.9	0.1075	0.511203 ± 4	2780	–4.5
657ж	андезибазальт	11.7	67.6	0.1047	0.511173 ± 2	2750	–4.4

леопротерозойских пород, имевших возраст преимущественно 2110–2054 млн лет. Накопление вулканогенно-терригенных отложений билякчанской серии завершилось до внедрения гранитоидов нудымийского комплекса 2050 млн лет назад. Новые данные доказывают, что билякчанская серия, вскрытая на водораздельных хребтах р. Мая и р. Левая Нябальджа, значительно древнее улканского вулканоплутонического комплекса, и не может сопоставляться с ним. Этот вывод в корне меняет представление о региональной корреляции северных и южных разрезов Улкано-Билякчанского пояса. Таким образом, заложение Билякчанского грабена произошло на 300–350 млн лет раньше Улканского прогиба. Установленный палеопротерозойский возраст пород Билякчанской зоны имеет не только региональное структурно-геологическое, но и важное минерагеническое значение. В частности, именно с тектоническими событиями 2.2–2.0 млрд лет назад сопряжено формирование гигантских месторождений медистых песчаников и крупного Катугинского редкометального месторождения [4]. В тектоническом плане, появление Билякчанского грабена знаменовало отделение Охотского массива от Сибирской платформы в раннем палеопротерозое.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарны А.М. Ларину за дополнения, улучшившие рукопись.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Госзадание НИР № 0153–2019–0014 ИГГД РАН, тема “Создание комплекта Государственной геологической карты масштаба 1:1000000 листа О-54 Охотск” ВСЕГЕИ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геологическая карта СССР. Масштаб 1 : 1000000 (новая серия). Объяснительная записка. Лист О-(53), 54 – Охотск. Л. 1986. 128 с.
2. Геологическая карта СССР. Масштаб 1 : 200000. Объяснительная записка. Лист О-54-VII. Л. 1978. 70 с.
3. Геологическая карта СССР. Масштаб 1:200000. Объяснительная записка. Лист О-54-XIII. Л. 1984. 98 с.
4. Ларин А.М., Котов А.Б., Сальникова Е.Б. и др. // ДАН. 2002. Т. 383. № 6. С. 807–811.
5. Неймарк Л.А., Ларин А.М., Немчин А.А. и др. // Петрология. 1998. № 2. С. 139–164.
6. Семихатов М.А., Кузнецов А.Б., Чумаков Н.М. // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2015. Т. 23. № 6. С. 16–27.
<https://doi.org/10.7868/S0869592X15060083>
7. Larin A.M., Amelin Yu. V., Neymark L.A., et al. // An Acad. Bras. Ci. 1997. V. 69. № 3. P. 296–312.
8. Коген В.С., Рунов Б.Е., Ставцев А.Л. // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1976. № 8. С. 113–123.
9. Константиновский А.А. // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1974. № 4. С. 72–84.
10. Кузьмин В.К., Худoley А.К., Матуков Д.И. и др. // ДАН. 2005. Т. 402. № 1. С. 65–70.
11. Гурьянов В.А. Геология и металлогения Улканского района (Алдано-Становой щит). Владивосток. Дальнаука. 2007. 227 с.
12. Кутырев Э.И., Соболев А.Е., Толстых А.Н. и др. // Разведка и охрана недр. 1986. № 11. С. 11–13.
13. Williams I.S. U-Th-Pb Geochronology by Ion Microprobe. In: McKibben M.A., Shanks III W.C. and Ridley W.I. (eds). Applications of Microanalytical Techniques to Understanding Mineralizing Processes. Reviews in Economic Geology. V. 7. 1998. P. 1–35.
14. Горохов И.М., Мельников Н.Н., Кузнецов А.Б., Константинова Г.В., Турченко Т.Л. // Литология и полезн. ископаемые. 2007. № 5. С. 536–551.
15. Кузьмин В.К., Глебовицкий В.А., Родионов Н.В. и др. // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2009. Т. 17. № 4. С. 3–22.

**PALEOPROTEROZOIC AGE (2055–2050 Ma)
OF VOLCANOGENIC-TERRIGENEOUS ROCKS FROM BILYAKCHAN
JUNCTION ZONE OF THE SIBERIAN PLATFORM AND OKHOTSK MASSIF**

V. K. Kuzmin^a, E. S. Bogomolov^{a,b}, and Corresponding Member of the RAS A. B. Kuznetsov^{b,#}

^a A.P. Karpinsky Russian Geological Research Institute, St. Petersburg, Russian Federation

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

[#]E-mail: antonbor9@mail.ru

The age of the Bilyakchan Group has been constrained by 2055–2050 Ma. That Group is a northern fragment of the Ulkan-Bilyakchan volcano-plutonic belt into junction zone of the Okhotsk Massif and Siberian Platform. The age is determined in accordance with U–Pb age of intruded granite of the Nudym complex (2050 ± 3.3 Ma) and U–Pb age of the youngest population of detrital zircons from sandstone of the Bilyakchan Group (2054 ± 9 Ma). The Early Paleoproterozoic rocks (2.41–2.05 Ga) predominated in provenance area of the Bilyakchan graben. The Bilyakchan Group is 300–350 Ma older than the Ulkan volcano-plutonic complex which it was correlated earlier. The expansion of the Bilyakchan graben was related the stage of separation the Okhotsk Massif from Siberian Platform in the Early Paleoproterozoic.

Keywords: Paleoproterozoic, sandstone, granite, zircon, geochronology