

УДК 551.82:551.72

## СВИДЕТЕЛЬСТВА МАГМАТИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ РАННЕГО ПАЛЕОПРОТЕРОЗОЯ (2,4–2,1 МЛРД ЛЕТ) НА ЮГЕ СИБИРСКОГО КРАТОНА

Д. П. Гладкочуб\*, Т. В. Донская, У. С. Ефремова

Институт земной коры СО РАН (ул. Лермонтова, 128, Иркутск, Россия, 664033),  
\*gladkochub@mail.ru

Проведен анализ новых авторских и ранее опубликованных данных, касающихся геологической истории террейнов, сформировавших Сибирский кратон в палеопротерозое. Показано, что на интервале 2,4–2,1 млрд лет, который ранее считался практически амагматичным, имеются локально проявленные свидетельства магматической активности, имевшей место в отдельных разрозненных террейнах, которые в дальнейшем, при сборке Сибирского кратона, вошли в структуры его орогенных поясов. Индикаторами этих событий рассматриваемого этапа развития сформировавших Сибирский кратон террейнов являются как редкие магматические образования с возрастом 2,25–2,10 млрд лет, так и палеопротерозойские метаморфизованные терригенные породы, содержащие детритовые цирконы с возрастом 2,4–2,1 млрд лет. В связи с тем, что преобладающими породами практически всех орогенных поясов Сибирского кратона являются магматические образования с возрастом 2,00–1,85 млрд лет, сформированные как на стадии орогенеза, так и на этапе постколлизиионного растяжения, в мезопротерозойских и неопротерозойских осадочных толщах именно эти колоссальные по своим объемам магматические комплексы обеспечивают подавляющий объем обломочных цирконов, практически полностью затушевывая вклад магматических образований с возрастом 2,4–2,1 млрд лет. Однако эти слабопроявленные события все-таки имели свое место в геологической истории Сибири. Таким образом, принимая во внимание новые данные, полученные по магматическим и метаосадочным комплексам Сибирского кратона, можно констатировать для террейнов, входящих в его структуру, не полное прекращение эндогенных процессов (перерыв), как это ранее считалось характерным для большинства древних кратонов, а существенное затухание тектономагматической активности на временном интервале 2,4–2,1 млрд лет, на фоне которого имели место локально проявленные магматические события.

Ключевые слова: палеопротерозой; Сибирский кратон; магматизм; детритовый циркон; затухание тектономагматической активности

Для цитирования: Гладкочуб Д. П., Донская Т. В., Ефремова У. С. Свидетельства магматических событий раннего палеопротерозоя (2,4–2,1 млрд лет) на юге Сибирского кратона // Труды Карельского научного центра РАН. 2026. № 2. С. 106–110. doi: 10.17076/geo2185

Финансирование. Исследования выполнены при поддержке гранта Российского научного фонда № 23-17-00196.

**D. P. Gladkochub\*, T. V. Donskaya, U. S. Efremova. EVIDENCE OF EARLY PALEOPROTEROZOIC (2.4–2.1 Ga) MAGMATIC EVENTS IN THE SOUTH OF THE SIBERIAN CRATON**

*Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences (128 Lermontov St., 664033 Irkutsk, Russia), \*gladkochub@mail.ru*

The authors' new findings and previously published data on the geological history of the terranes that formed the Siberian Craton in the Paleoproterozoic were analyzed. It is shown that the 2.4–2.1 Ga interval, which was previously considered practically amagmatic, contains locally manifested evidence of magmatic activity in some disjoint terranes, which were later, during the assembly of the Siberian Craton, structurally integrated into its orogenic belts. The indicators of these events, which occurred at the analyzed stage in the evolution of the terranes that formed the Siberian Craton, are both rare igneous rocks aged 2.25–2.10 Ga, and Paleoproterozoic metamorphosed terrigenous rocks containing detrital zircons aged 2.4–2.1 Ga. Since the predominant rocks of almost all orogenic belts of the Siberian Craton are igneous rocks of 2.00–1.85 Ga age, formed both at the orogeny stage and during post-collisional extension, it is these huge magmatic complexes in Mesoproterozoic and Neoproterozoic sedimentary strata that provide the bulk of clastic zircons, almost completely obscuring the contribution of magmatic rocks of 2.4–2.1 Ga age. However, these poorly manifested events did occur in the geological history of Siberia. Thus, considering the new data on the magmatic and meta-sedimentary complexes of the Siberian Craton, it is safe to assume that endogenous processes in the terranes comprised within its structure were not at full stop (in a gap) in the 2.4–2.1 Ga time interval, as it was previously believed for most ancient cratons, but there was a significant tectono-magmatic lull (TML) with local-scale magmatic events.

Keywords: Paleoproterozoic; Siberian Craton; detrital zircon; magmatism; tectono-magmatic lull

For citation: Gladkochub D. P., Donskaya T. V., Efremova U. S. Evidence of Early Paleoproterozoic (2.4–2.1 Ga) magmatic events in the south of the Siberian Craton. *Trudy Karelskogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2026. No. 2. P. 106–110. doi: 10.17076/geo2185

Funding. The research was supported by the Russian Science Foundation grant No. 23-17-00196.

Палеопротерозойская эра в геологической истории Земли была ознаменована первыми крупномасштабными аккреционно-коллизийными событиями, приведшими к формированию большинства древних кратонов. К. Конди с соавторами [Condie et al., 2009a, b], обобщив информацию по магматическим и осадочным породам древних кратонов, отметил, что пики магматической активности в палеопротерозое соответствуют отметкам 2,5, 2,1, 1,9 млрд лет, пики, полученные по зернам детритового циркона, составляют 2,5, 1,9 и 1,65 млрд лет, а интервал от 2,45 до 2,20 млрд лет был охарактеризован как практически амагматичный. Сибирский кратон не являлся исключением, и долгое время считалось, что в его пределах отсутствуют проявления магматизма на отрезке от 2,4 до 2,1 млрд лет, что подтверждалось как данными по возрасту магматических комплексов (обзор в [Donskaya, 2020]), так и по практически полному отсутствию

зерен детритового циркона этого возраста в мезопротерозойских и неопротерозойских осадочных разрезах [Khudoley et al., 2015; Priyatkina et al., 2016, 2018; Gladkochub et al., 2019 и др.]. Однако в последнее время появились доказательства того, что события этого возраста имели место в отдельных блоках, сформировавших на интервале 2,00–1,85 млрд лет Сибирский кратон. Ниже перечислены палеопротерозойские терригенные породы южной части Сибирского кратона, в которых зафиксированы детритовые цирконы с возрастом 2,4–2,1 млрд лет.

1. Песчаники ингашинской свиты Урикско-Ийского блока палеопротерозойского Ангарского орогенного пояса: незначительные пики с возрастом 2,32, 2,18 и 2,10 млрд лет [Гладkochub и др., 2014].

2. Кордиеритсодержащие и гиперстенбиотитовые парагнейсы Иркутского блока Шарыжалгайского выступа: детритовые ядра

с возрастом 2,34, 2,28 и 2,20 млрд лет [Туркина и др., 2010].

3. Парагнейсы Иркутского блока Шарыжалгайского выступа: зерна детритового циркона с возрастом 2,25 и 2,3 млрд лет (неопубликованные авторские данные).

4. Слюдисто-кварцевые сланцы и кварциты харгитуйской свиты Аkitканского орогенного пояса: основной пик на отметке 2,33 млрд лет и более мелкие значимые пики на отметках 2,22 и 2,15 млрд лет [Ефремова и др., 2024а].

5. Песчаники иликтинской свиты Аkitканского орогенного пояса: значимые пики на отметках 2,35, 2,29–2,28, 2,17–2,16 млрд лет [Ефремова и др., 2024б].

6. Гранатсодержащие гнейсы из керна скважины Даниловской группы (центральная часть Непско-Ботубинской антеклизы): зерна обломочного циркона с возрастом 2,35, 2,27 и 2,13 млрд лет (неопубликованные авторские данные).

7. Метатерригенные породы кодарской серии Алданского щита: детритовые цирконы с возрастом в диапазоне 2,4–2,2 млрд лет [Ковач и др., 2024].

Анализ пространственного распространения этих осадочных толщ показал их приуроченность к палеопротерозойским орогенным поясам, в которых действительно в ограниченном объеме присутствуют редкие магматические образования с возрастом 2,25–2,10 млрд лет. В частности, в Аkitканском орогенном поясе отмечены граниты с возрастом 2,15 млрд лет [Донская и др., 2016], в Становом орогенном поясе проявлены граниты с возрастом 2,11 млрд лет [Котов и др., 2018], а в Транссибирском орогенном поясе присутствуют гнейсы, протолитами которых являлись граниты с возрастом 2,25 млрд лет [Донская и др., 2025].

Принимая во внимание изложенные выше данные, можно отметить, что магматическая активность на интервале 2,4–2,1 млрд лет была проявлена в отдельных террейнах, которые в дальнейшем, при сборке Сибирского кратона, вошли в структуры орогенных поясов. В связи с тем, что преобладающими породами орогенных поясов кратона являются магматические образования с возрастом 2,00–1,85 млрд лет, сформированные как на стадии орогенеза, так и на этапе посторогенного (постколлизиионного) растяжения, в более молодых по отношению к ним осадочных толщах именно эти колоссальные по своим объемам магматические комплексы обеспечивают подавляющий объем обломочных цирконов. Эти цирконы с возрастaми 2,00–1,85 млрд лет практически

полностью затушевывают вклад более древних магматических образований с возрастом 2,4–2,1 млрд лет, которые, однако, имели свое достаточно ограниченное место в геологической истории террейнов, сформировавших Сибирский кратон.

Таким образом, принимая во внимание новые данные, полученные для террейнов, входящих в структуру Сибирского кратона, можно констатировать для них не полное прекращение эндогенных процессов, как это считалось ранее для большинства древних кратонов [Condie et al., 2009a, b], а существенное затухание тектономагматической активности (tectono-magmatic lull – TML) на временном интервале 2,4–2,1 млрд лет, на фоне которого имели место лишь локально проявленные магматические события. Данное заключение хорошо соотносится с результатами, полученными К. Конди с соавторами, для рассматриваемого возрастного отрезка геологической истории Земли [Condie et al., 2022].

## Литература

Гладкочуб Д. П., Мазукабзов А. М., Станевич А. М., Донская Т. В., Мотова З. Л., Ванин В. А. Возрастные уровни и геодинамические режимы накопления докембрийских толщ Урикско-Ийского грабена, юг Сибирского кратона // Геотектоника. 2014. № 5. С. 17–31. doi: 10.7868/S0016853X14050038

Донская Т. В., Гладкочуб Д. П., Мазукабзов А. М., Лепехина Е. Н. Возраст и источники палеопротерозойских дометаморфических гранитоидов Голоустенского блока Сибирского кратона: геодинамические следствия // Петрология. 2016. Т. 24, № 6. С. 587–606. doi: 10.7868/S0869590316050046

Донская Т. В., Гладкочуб Д. П., Сукнева М. О., Ефремова У. С., Туркина О. М., Вахромеев А. Г., Демонтерова Е. И. Раннепротерозойские гранитоиды центральной части Непско-Ботубинской антеклизы – индикаторы становления Транссибирского орогенного пояса Сибирского кратона // Геология и геофизика. 2025. Т. 66, № 12. С. 1535–1552. doi: 10.15372/GiG2025155

Ефремова У. С., Донская Т. В., Гладкочуб Д. П., Мазукабзов А. М., Иванов А. В., Брянский Н. В. Разделение раннепротерозойской харгитуйской свиты сарминской серии (Аkitканский орогенный пояс, Сибирский кратон) на разновозрастные толщи на основании результатов U–Pb-изотопного анализа циркона // Доклады РАН. Науки о Земле. 2024а. Т. 517, № 1. С. 707–715. doi: 10.31857/S2686739724070059

Ефремова У. С., Донская Т. В., Гладкочуб Д. П., Мазукабзов А. М., Иванов А. В., Брянский Н. В. Раннепротерозойские отложения иликтинской свиты как индикаторы эволюции Аkitканского орогена (юг Сибирского кратона) // Геология и геофизи-

ка. 2024б. Т. 65, № 5. С. 631–654. doi: 10.15372/GiG2023203

Ковач В. П., Адамская Е. В., Котов А. Б., Подковыров В. Н., Ларин А. М., Скляр Е. В., Загорная Н. Ю., Сквитина Т. М., Плоткина Ю. В., Федосеев А. М., Тон И. Возраст и источники сноса пород кодарской серии удоканского комплекса (Алданский щит): результаты геохимических, U–Th–Pb (LA-ICP-MS) геохронологических и Nd–Hf изотопных исследований // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2024. Т. 32, № 5. С. 3–26. doi: 10.31857/S0869592X24050016

Котов А. Б., Сальникова Е. Б., Ковач В. П., Великославинский С. Д., Скляр Е. В., Гладкохуб Д. П., Ларин А. М., Толмачева Е. В., Федосеев А. М., Плоткина Ю. В. Верхняя возрастная граница формирования протолитов метасадочных пород нижней части разреза удоканской серии (Алданский щит) // ДАН. 2018. Т. 479, № 4. С. 412–416. doi: 10.7868/S0869565218100122

Туркина О. М., Урманцева Л. Н., Бережная Н. Г., Пресняков С. Л. Палеопротерозойский возраст протолитов метатерригенных пород восточной части Иркутского гранулитогнейсового блока (Шарыжалгайский выступ Сибирского кратона) // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2010. Т. 18, № 1. С. 18–33.

Condie K. C., Belousova E., Griffin W. L., Sircombe K. N. Granitoid events in space and time: Constraints from igneous and detrital zircon age spectra // *Gondwana Res.* 2009a. Vol. 15. P. 228–242. doi: 10.1016/j.gr.2008.06.001

Condie K. C., O'Neill C., Aster R. C. Evidence and implications for a widespread magmatic shutdown for 250 My on Earth // *Earth Planet. Sci. Lett.* 2009b. Vol. 282. P. 294–298. doi: 10.1016/j.epsl.2009.03.033

Condie K. C., Pisarevsky S. A., Puetz S. J., Spencer C. J., Teixeira W., Faleiros F. M. A reappraisal of the global tectono-magmatic lull at ~ 2.3 Ga // *Precambrian Res.* 2022. Vol. 376. Art. 106609. doi: 10.1016/j.precamres.2022.106690

Donskaya T. V. Assembly of the Siberian Craton: constraints from Paleoproterozoic granitoids // *Precambrian Res.* 2020. Vol. 348. Art. 105869. doi: 10.1016/j.precamres.2020.105869

Gladkochub D. P., Donskaya T. V., Stanevich A. M., Pisarevsky S. A., Zhang S., Motova Z. L., Mazukabzov A. M., Li H. U-Pb detrital zircon geochronology and provenance of Neoproterozoic sedimentary rocks in southern Siberia: New insights into breakup of Rodinia and opening of Paleo-Asian Ocean // *Gondwana Res.* 2019. Vol. 65. P. 1–16. doi: 10.1016/j.gr.2018.07.007

Khudoley A., Chamberlain K., Ershova V., Sears J., Prokopiev A., MacLean J., Kazakova G., Malyshev S., Molchanov A., Kullerud K., Toro J., Miller E., Veselovskiy R., Li A., Chipley D. Proterozoic supercontinental restorations: constraints from provenance studies of Mesoproterozoic to Cambrian clastic rocks, eastern Siberian Craton // *Precambrian Res.* 2015. Vol. 259. P. 78–94. doi: 10.1016/j.precamres.2014.10.003

Priyatkina N., Collins W. J., Khudoley A. K., Letnikova E. F., Huang H.-Q. The Neoproterozoic evolution of the western Siberian Craton margin: U-Pb-Hf isotopic

records of detrital zircons from the Yenisey Ridge and the Prisayan Uplift // *Precambrian Res.* 2018. Vol. 305. P. 197–217. doi: 10.1016/j.precamres.2017.12.014

Priyatkina N., Khudoley A. K., Collins W. J., Kuznetsov N. B., Huang H.-Q. Detrital zircon record of Meso- and Neoproterozoic sedimentary basins in northern part of the Siberian Craton: characterizing buried crust of the basement // *Precambrian Res.* 2016. Vol. 285. P. 21–38. doi: 10.1016/j.precamres.2016.09.003

## References

Condie K. C., Belousova E., Griffin W. L., Sircombe K. N. Granitoid events in space and time: Constraints from igneous and detrital zircon age spectra. *Gondwana Res.* 2009;15:228–242. doi: 10.1016/j.gr.2008.06.001

Condie K. C., O'Neill C., Aster R. C. Evidence and implications for a widespread magmatic shutdown for 250 My on Earth. *Earth Planet. Sci. Lett.* 2009;282: 294–298. doi: 10.1016/j.epsl.2009.03.033

Condie K. C., Pisarevsky S. A., Puetz S. J., Spencer C. J., Teixeira W., Faleiros F. M. A reappraisal of the global tectono-magmatic lull at ~ 2.3 Ga. *Precambrian Res.* 2022;376:106609. doi: 10.1016/j.precamres.2022.106690

Donskaya T. V. Assembly of the Siberian Craton: constraints from Paleoproterozoic granitoids. *Precambrian Res.* 2020;348:105869. doi: 10.1016/j.precamres.2020.105869

Donskaya T. V., Gladkochub D. P., Mazukabzov A. M., Lepekhina E. N. Age and sources of the Paleoproterozoic pre-metamorphic granitoids of the Goloustnaya block of the Siberian Craton: geodynamic applications. *Petrologiya = Petrology.* 2016;24(6):587–606. (In Russ.). doi: 10.7868/S0869590316050046

Donskaya T. V., Gladkochub D. P., Sukneva M. O., Efremova U. S., Turkina O. M., Vakhromeev A. G., Demonterova E. I. Paleoproterozoic granitoids of the central part of the Nepa-Botuobiya anticline as indicators of the formation of the Trans-Siberian orogenic belt of the Siberian craton. *Russian Geology and Geophysics.* 2025;66(12):1507–1522. doi: 10.2113/RGG20254908

Gladkochub D. P., Donskaya T. V., Stanevich A. M., Pisarevsky S. A., Zhang S., Motova Z. L., Mazukabzov A. M., Li H. U-Pb detrital zircon geochronology and provenance of Neoproterozoic sedimentary rocks in southern Siberia: New insights into breakup of Rodinia and opening of Paleo-Asian Ocean. *Gondwana Res.* 2019;65:1–16. doi: 10.1016/j.gr.2018.07.007

Gladkochub D. P., Mazukabzov A. M., Stanevich A. M., Donskaya T. V., Motova Z. L., Vanin V. A. Precambrian sedimentation in the Urik-Iya Graben, Southern Siberian Craton: main stages and tectonic settings. *Geotektonika = Geotectonics.* 2014;5:17–31. (In Russ.). doi: 10.7868/S0016853X14050038

Efremova U. S., Donskaya T. V., Gladkochub D. P., Mazukabzov A. M., Ivanov A. V., Bryansky N. V. Division of the Early Proterozoic Khargitui Formation of the Sarma Group (Akitkan Orogenic Belt, Siberian Craton) into different age sequences based on the results of U-Pb isotopic analysis of zircon. *Doklady*

*Earth Sciences*. 2024;517:1119–1125. doi: 10.1134/S1028334X24601913

*Efremova U. S., Donskaya T. V., Gladkochub D. P., Mazukabzov A. M., Ivanov A. V., Bryansky N. V.* Early Proterozoic Ilikt formation: a record of the Akitkan orogen evolution (Southern Siberian Craton). *Russian Geology and Geophysics*. 2024;65(5):559–578. doi: 10.2113/RGG20234675

*Khudoley A., Chamberlain K., Ershova V., Sears J., Prokopiev A., MacLean J., Kazakova G., Malyshev S., Molchanov A., Kullerud K., Toro J., Miller E., Veselovskiy R., Li A., Chipley D.* Proterozoic supercontinental restorations: constraints from provenance studies of Mesoproterozoic to Cambrian clastic rocks, eastern Siberian Craton. *Precambrian Res*. 2015;259:78–94. doi: 10.1016/j.precamres.2014.10.003

*Kotov A. B., Salnikova E. B., Kovach V. P., Veli-koslavinskii S. D., Sklyarov E. V., Gladkochub D. P., Larin A. M., Tolmacheva E. V., Fedoseenko A. M., Plotkina Yu. V.* The younger age limit of metasedimentary protolith formation of the lower part of the Udokan group rocks (Aldan Shield). *Doklady Earth Sciences*. 2018; 479(2):415–419. doi: 10.1134/S1028334X18040025

*Kovach V. P., Adamskaya E. V., Kotov A. B., Podkovyrov V. N., Larin A. M., Sklyarov E. V., Zagor-*

*naya N. Yu., Skovitina T. M., Plotkina Yu. V., Fedoseenko A. M., Ton Y.* Age and sources of rocks of the Kodar group of the Udokan complex (Aldan Shield): results of geochemical, U-Th-Pb (LA-ICP-MS) geochronological and Nd-Hf isotopic studies. *Stratigraphy and Geological Correlation*. 2024;32(5):445–468. doi: 10.1134/S0869593824700102

*Priyatkina N., Collins W. J., Khudoley A. K., Letnikova E. F., Huang H.-Q.* The Neoproterozoic evolution of the western Siberian Craton margin: U-Pb-Hf isotopic records of detrital zircons from the Yenisey Ridge and the Prisayan Uplift. *Precambrian Res*. 2018;305:197–217. doi: 10.1016/j.precamres.2017.12.014

*Priyatkina N., Khudoley A. K., Collins W. J., Kuznetsov N. B., Huang H.-Q.* Detrital zircon record of Meso- and Neoproterozoic sedimentary basins in northern part of the Siberian Craton: characterizing buried crust of the basement. *Precambrian Res*. 2016; 285:21–38. doi: 10.1016/j.precamres.2016.09.003

*Turkina O. M., Urmantseva L. N., Berezhnaya N. G., Presnyakov S. L.* Paleoproterozoic age of the protoliths of metaterrigenous rocks in the East of the Irkut granulite-gneiss block (Sharizhlgai salient, Siberian Craton). *Stratigraphy and Geological Correlation*. 2010;18(1):6–30.

Поступила в редакцию / received: 05.08.2025; принята к публикации / accepted: 18.08.2025.  
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interest.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

### Гладkochуб Дмитрий Петрович

чл.-корр. РАН, профессор РАН, д-р геол.-мин. наук, директор

*e-mail: gladkochub@mail.ru*

### Донская Татьяна Владимировна

чл.-корр. РАН, д-р геол.-мин. наук, главный научный сотрудник

*e-mail: tatiana\_donskaya@mail.ru*

### Ефремова Ульяна Сергеевна

канд. геол.-мин. наук, младший научный сотрудник

*e-mail: ulianavolpe@gmail.com*

## CONTRIBUTORS:

### Gladkochub, Dmitry

RAS Corr. Fellow, Professor of RAS, Dr. Sci. (Geol.-Miner.), Director

### Donskaya, Tatiana

RAS Corr. Fellow, Dr. Sci. (Geol.-Miner.), Chief Researcher

### Efremova, Uliana

Cand. Sci. (Geol.-Miner.), Junior Researcher