

УДК 551.82 : 551.72

РАННЕПРОТЕРОЗОЙСКИЕ ОРОГЕННЫЕ ПОЯСА ЮЖНОЙ И ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТЕЙ СИБИРСКОГО КРАТОНА – ИНДИКАТОРЫ СТАНОВЛЕНИЯ ЕГО СТРУКТУРЫ

Т. В. Донская^{1*}, Д. П. Гладкочуб¹, О. М. Туркина², У. С. Ефремова¹

¹ Институт земной коры СО РАН (ул. Лермонтова, 128, Иркутск, Россия, 664033),
*tatiana_donskaya@mail.ru

² Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН (пр. Академика Коптюга, 3, Новосибирск, Россия, 630090)

Проведено детальное изучение раннепротерозойских Аkitканского и Транссибирского орогенных поясов в южной и центральной частях Сибирского кратона. В каждом поясе зафиксированы фрагменты доаккреционных породных комплексов, которые не связаны с эволюцией орогенных поясов. В структуре Аkitканского пояса это гранитоиды с возрастом 2,88 и 2,15 млрд лет, а также метаморфизованные осадочные породы, накопление которых происходило в интервале от 2,15 до 1,95 млрд лет. В Транссибирском орогенном поясе к доаккреционным образованиям относятся амфибол-биотитовые гнейсы с возрастом гранитоидного протолита 2,25 млрд лет, гранатсодержащие парагнейсы с накоплением терригенных субстратов около 2,0 млрд лет назад и, возможно, фрагменты архейских породных комплексов. Индикаторами становления собственно орогенных поясов являются магматические образования, преимущественно гранитоиды с возрастом 2,02–1,97 млрд лет, характеризующиеся разнообразными химическими составами, формирование которых могло происходить в пределах аккреционных орогенов. Дальнейшая эволюция орогенных поясов связана с развитием осадочных бассейнов в обстановке растяжения, в которых накапливались моласоидные терригенные породы за счет разрушения орогенной постройки, а также с последующим внедрением постколлизийных магматических пород в интервале 1,88–1,85 млрд лет. В результате исследований установлено, что формирование Аkitканского и Транссибирского орогенных поясов происходило по одинаковому сценарию, а их эволюция была достаточно длительной, с 2,02 до 1,85 млрд лет, что позволяет рассматривать данные раннепротерозойские орогенные пояса как индикаторы становления структуры Сибирского кратона.

Ключевые слова: магматические породы; терригенные породы; орогенные пояса; ранний протерозой; Сибирский кратон

Для цитирования: Донская Т. В., Гладкочуб Д. П., Туркина О. М., Ефремова У. С. Раннепротерозойские орогенные пояса южной и центральной частей Сибирского кратона – индикаторы становления его структуры // Труды Карельского научного центра РАН. 2025. № 5. С. 58–63. doi: 10.17076/geo2184

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

T. V. Donskaya^{1*}, D. P. Gladkochub¹, O. M. Turkina², U. S. Efremova¹.
EARLY PROTEROZOIC OROGENIC BELTS OF THE SOUTHERN AND
CENTRAL PARTS OF THE SIBERIAN CRATON AS INDICATORS OF ITS
FORMATION

¹ *Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences (128 Lermontov St., 664033 Irkutsk, Russia), *tatiana_donskaya@mail.ru*

² *V. S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences (3 Academician Koptyug Ave., 630090 Novosibirsk, Russia)*

The paper presents the results of a detailed study of the Early Proterozoic Akitkan and Trans-Siberian orogenic belts in the southern and central parts of the Siberian Craton. Each belt contains fragments of pre-accretionary rocks not associated with the evolution of orogenic belts. In the Akitkan belt, these are 2.88 and 2.15 Ga granitoids, as well as metamorphosed sedimentary rocks accumulated from 2.15 to 1.95 Ga. Pre-accretionary rocks in the Trans-Siberian orogenic belt include amphibole-biotite gneisses with the granitoid protolith age at 2.25 Ga, garnet-bearing paragneisses with the accumulation of terrigenous substrates at about 2.0 Ga, and, possibly, fragments of Archean rocks. Indicators of the formation of orogenic belts are igneous rocks, mainly granitoids of varying chemical composition aged 2.02–1.97 Ga, which could have been generated within accretionary orogens. Further evolution of the orogenic belts is related to the development of sedimentary basins in an extension setting, in which molassoid terrigenous rocks accumulated due to the destruction of the orogens, as well as to the intrusion of post-collisional igneous rocks in the time interval from 1.88 to 1.85 Ga. The formation of the Akitkan and Trans-Siberian orogenic belts followed the same scenario, and their evolution time-frame was quite extensive, from 2.02 to 1.85 Ga, which allows us to consider these Early Proterozoic orogenic belts as indicators of the formation of the Siberian Craton.

Keywords: igneous rocks; terrigenous rocks; orogenic belts; Early Proterozoic; Siberian Craton

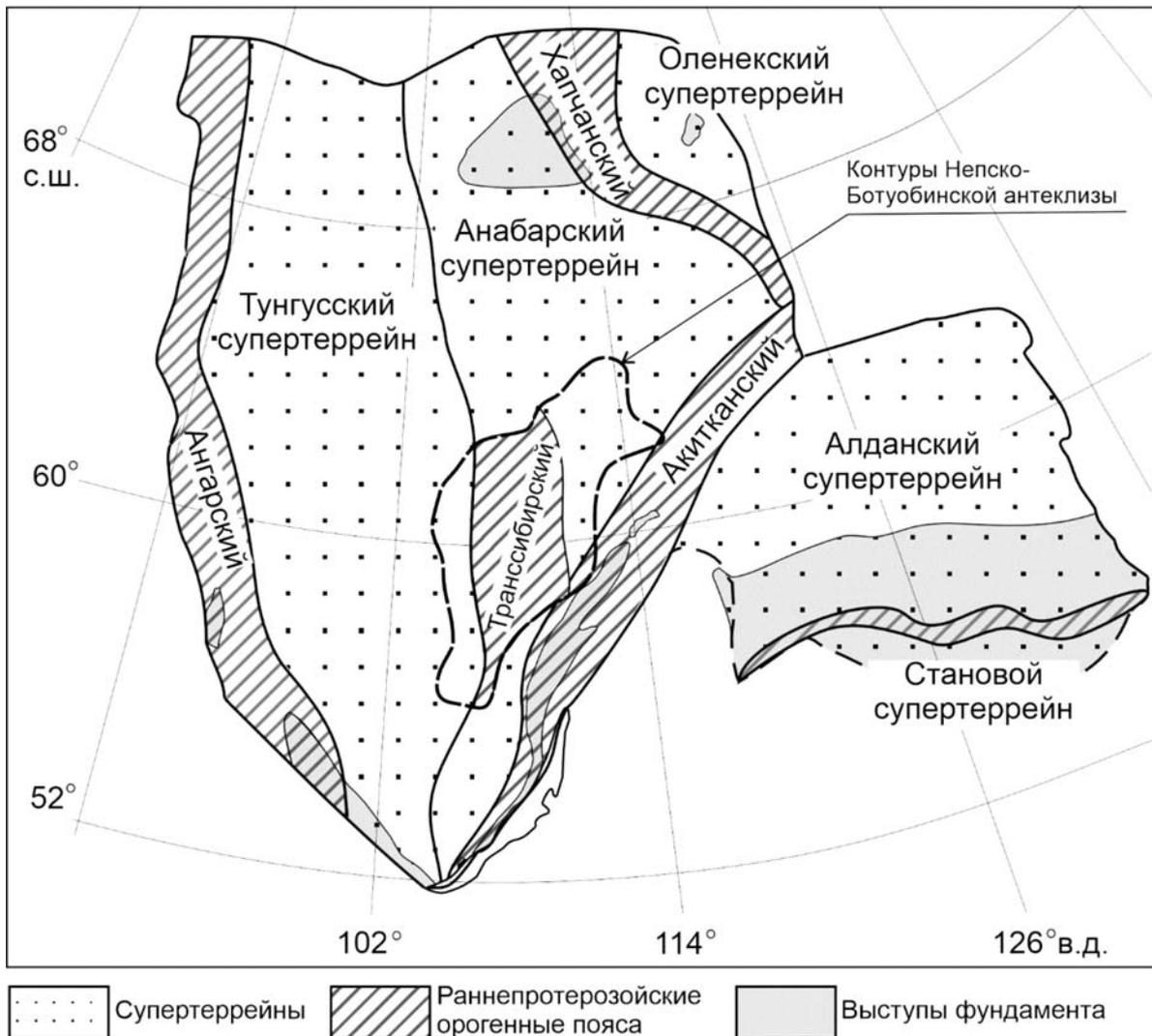
For citation: Donskaya T. V., Gladkochub D. P., Turkina O. M., Efremova U. S. Early Proterozoic orogenic belts of the southern and central parts of the Siberian Craton as indicators of its formation. *Trudy Karelskogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2025. No. 5. P. 58–63. doi: 10.17076/geo2184

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

Сибирский кратон представляет собой структуру, состоящую из архейских и раннепротерозойских супертеррейнов, разделенных раннепротерозойскими орогенными поясами и шовными зонами [Розен, 2003; Gladkochub et al., 2006; Donskaya, 2020; Priyatkina et al., 2020 и др.]. Расшифровать особенности становления структуры кратона позволяет детальное изучение эволюции орогенных поясов и шовных зон. Данная работа посвящена рассмотрению эволюции Аkitканского и Транссибирского орогенных поясов в южной и центральной частях Сибирского кратона (рис.) с целью реконструировать основные этапы становления его структуры.

Аkitканский орогенный пояс, разделяющий, согласно нескольким схемам строения кратона, архейские Анабарский и Алданский супертеррейны (рис.), хорошо изучен в южной части, где породы пояса выходят на поверхность в пределах Байкальского выступа фундамента.

В структуре Аkitканского орогенного пояса отмечаются фрагменты пород, не связанные с его эволюцией, в том числе гранитоиды тоналит-трондьемит-гранодиоритовой серии с возрастом 2,88 млрд лет [Donskaya et al., 2009], граниты с возрастом 2,15 млрд лет [Донская и др., 2016], метаморфизованные осадочные породы, накопление которых имело место в период 2,15–1,95 млрд лет [Ефремова и др., 2024a]. Формирование собственно Аkitканского орогенного пояса, по-видимому, началось с субдукции под южную часть Анабарского супертеррейна и с развитием здесь активной континентальной окраины с сопряженными островными дугами. Индикаторами этих событий являются магматические породы с возрастом около 2,02 млрд лет, имеющие надсубдукционные геохимические характеристики и положительные значения $\varepsilon_{\text{Nd}}(t)$, сформированные за счет плавления ювенильной ранне-



Упрощенная схема тектонического строения фундамента Сибирского кратона (модифицированная после [Розен, 2003; Gladkochub et al., 2006; Донская и др., 2025])

Simplified tectonic scheme of the Siberian Craton (modified after [Rosen, 2003; Gladkochub et al., 2006; Donskaya et al., 2025])

протерозойской коры [Неймарк и др., 1998; Донская и др., 2013, 2016]. Становление аккреционного Аkitканского орогенного пояса продолжалось в условиях смены субдукционного режима на коллизионный в интервале 2,00–1,95 млрд лет, что фиксируется возрастом основных метаморфических событий в пределах этого пояса [Донская и др., 2016; Савельева и др., 2019]. Дальнейшая эволюция Аkitканского пояса связана с развитием осадочных бассейнов в обстановке растяжения на временном интервале 1,95–1,91 млрд лет [Ефремова и др., 2024б] и с последующим внедрением пород Южно-Сибирского постколлизионного магматического пояса на интервале 1,88–1,84 млрд лет [Donskaya, Gladkochub, 2021].

Транссибирский (Восточно-Тунгусский, Маганский) орогенный пояс, разделяющий архейские Анабарский и Тунгусский супертеррейны, расположен в центральной части Сибирского кратона (рис.). Раннедокембрийские породы этого орогенного пояса полностью перекрыты осадочным чехлом, поэтому его конфигурация до сих пор остается неоднозначной. На некоторых тектонических схемах выделялся даже не орогенный пояс, а очень узкая раннепротерозойская шовная зона [Розен, 2003; Gladkochub et al., 2006; Donskaya, 2020], а на других отмечался очень широкий орогенный пояс в размерах Маганского террейна Анабарского супертеррейна [Priyatkina et al., 2020]. Полученные новые данные по породам из керна глубоких

скважин, вскрывающих породы докембрийского фундамента Сибирского кратона, позволили приблизиться к реконструкции конфигурации и основных этапов эволюции этого раннепротерозойского пояса в пределах Непско-Ботубинской антеклизы (рис.). Подобно Аkitканскому поясу, в структуре Транссибирского орогенного пояса присутствуют фрагменты пород, не связанные с его эволюцией, а именно амфибол-биотитовые гнейсы с возрастом гранитоидного протолита 2,25 млрд лет [Донская и др., 2025], гранатсодержащие парагнейсы, накопление терригенных субстратов которых имело место около 2,0 млрд лет назад, и, возможно, фрагменты архейских породных комплексов. Основной этап формирования Транссибирского орогенного пояса отвечает временному интервалу 2,00–1,97 млрд лет и фиксируется гранитоидами этого возраста, характеризующимися разнообразными химическими составами, близкими к гранитам I- и S-типов, и Nd-модельным возрастом 2,6–2,4 млрд лет [Попов и др., 2015; Туркина и др., 2024; Донская и др., 2025]. Эти данные свидетельствуют о том, что формирование гранитоидов могло происходить в пределах аккреционного орогена, объединяющего в себе блоки с архейской и ювенильной раннепротерозойской корой [Туркина и др., 2024]. Формирование Транссибирского орогенного пояса, вероятно, завершилось так же, как и Аkitканского пояса, когда в осадочных бассейнах растяжения начали накапливаться молассоидные терригенные породы за счет разрушения орогенной постройки. В качестве подобных образований в Транссибирском орогенном поясе можно рассматривать протолиты гранат-биотитовых парагнейсов (метаграувакк) с возрастом детритового циркона преимущественно в интервале 2,12–1,98 млрд лет [Самсонов и др., 2023]. Финальной стадией эволюции Транссибирского орогенного пояса является внедрение гранитоидов с возрастом 1,88 млрд лет [Туркина и др., 2024], что отвечает времени формирования пород Южно-Сибирского постколлизийного магматического пояса.

Таким образом, проведенные исследования показали, что становление Аkitканского орогенного пояса в южной части Сибирского кратона и Транссибирского орогенного пояса в его центральной части происходило по одинаковому сценарию, а их эволюция была достаточно длительной, продолжаясь с 2,02 до 1,85 млрд лет, что позволяет рассматривать эти раннепротерозойские орогенные пояса как индикаторы становления структуры Сибирского кратона.

Литература

Донская Т. В., Гладкочуб Д. П., Мазукабзов А. М., Пресняков С. Л., Баянова Т. Б. Палеопротерозойские гранитоиды чуйского и кутимского комплексов (юг Сибирского кратона): возраст, петрогенезис и геодинамическая природа // Геология и геофизика. 2013. Т. 54, № 3. С. 371–389.

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. 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 Российской академии наук. 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 геофизика. 2024б. Т. 65, № 5. С. 631–654. doi: 10.15372/GiG2023203

Неймарк Л. А., Ларин А. М., Немчин А. А., Овчинникова Г. В., Рыцк Е. Ю. Геохимические, геохронологические (U-Pb) и изотопные (Pb, Nd) свидетельства анорогенного характера магматизма Северо-Байкальского вулcano-плутонического пояса // Петрология. 1998. Т. 6, № 4. С. 139–164.

Попов Н. В., Сафонова И. Ю., Постников А. А., Терлеев А. А., Комия Ц., Токарев Д. А. Палеопротерозойские гранитоиды из фундамента центральной части Сибирской платформы (скважина Могадинская-6): U-Pb возраст и состав // ДАН. 2015. Т. 461, № 5. С. 558–562. doi: 10.7868/S0869565215110201

Розен О. М. Сибирский кратон: тектоническое районирование, этапы эволюции // Геотектоника. 2003. № 3. С. 3–21.

Савельева В. Б., Данилова Ю. В., Шумилова Т. Г., Иванов А. В., Данилов Б. С., Базарова Е. П. Эпигенетическая графитизация в фундаменте Сибирского кратона – свидетельство миграции обогащенных углеводородами флюидов в палеопротерозое // ДАН. 2019. Т. 486, № 2. С. 217–222. doi: 10.31857/S0869-56524862217-222

Самсонов А. В., Ерофеева К. Г., Постников А. В., Спиридонов В. А., Ларионова Ю. О., Ларионов А. Н., Терехов А. В., Сабиров И. А., Спиридонов И. В., Дубенский А. С. Палеопротерозойский Таймыро-

Байкальский ороген в южной части Сибирского кратона: границы, состав и история формирования по изучению керн скважин // Тектоника и геодинамика земной коры и мантии: фундаментальные проблемы-2023: Мат-лы LIV Тектонического совещания. Т. 2. М.: Геос, 2023. С. 168–171.

Туркина О. М., Плюснин А. В., Донская Т. В., Афонин И. О., Санин С. С. Гнейсы и гранитоиды фундамента Непско-Ботуобинской антеклизы: ограничения на распространение архейской и палеопротерозойской коры в зоне сочленения Тунгусского супертеррейна и Маганского террейна (юг Сибирского кратона) // Петрология. 2024. Т. 32, № 4. С. 446–470. doi: 10.31857/S0869590324040024

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

Donskaya T. V., Gladkochub D. P., Pisarevsky S. A., Poller U., Mazukabzov A. M., Bayanova T. B. Discovery of Archaean crust within the Akitkan orogenic belt of the Siberian Craton: new insight into its architecture and history // Precamb. Res. 2009. Vol. 170. P. 61–72. doi: 10.1016/j.precamres.2008.12.003

Donskaya T. V., Gladkochub D. P. Post-collisional magmatism of 1.88–1.84 Ga in the southern Siberian Craton: an overview // Precamb. Res. 2021. Vol. 367. Art. 106447. doi: 10.1016/j.precamres.2021.106447

Gladkochub D. P., Pisarevsky S. A., Donskaya T. V., Natapov L. M., Mazukabzov A. M., Stanevich A. M., Sklyarov E. V. Siberian Craton and its evolution in terms of Rodinia hypothesis // Episodes. 2006. Vol. 29, no. 3. P. 169–174. doi: 10.18814/epiiugs/2006/v29i3/00

Priyatkina N., Ernst R. E., Khudoley A. K. A preliminary reassessment of the Siberian cratonic basement with new U-Pb-Hf detrital zircon data // Precamb. Res. 2020. Vol. 340. Art. 105645. doi: 10.1016/j.precamres.2020.105645

References

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

Donskaya T. V., Gladkochub D. P., Mazukabzov A. M., Presnyakov S. L., Bayanova T. B. Paleoproterozoic granitoids of the Chuya and Kutima complexes (southern Siberian Craton): age, petrogenesis, and geodynamic setting. *Russ. Geol. Geophys.* 2013;54(3): 283–296. doi: 10.1016/j.rgg.2013.02.004

Donskaya T. V., Gladkochub D. P., Mazukabzov A. M., Lepekhina E. N. Age and sources of the Paleoproterozoic premetamorphic granitoids of the Goloustnaya Block of the Siberian Craton: geodynamic applications. *Petrology.* 2016;24(6):543–561. doi: 10.1134/S0869591116050040

Donskaya T. V., Gladkochub D. P., Pisarevsky S. A., Poller U., Mazukabzov A. M., Bayanova T. B. Discovery of Archaean crust within the Akitkan orogenic belt of the Siberian Craton: new insight into its architecture and history. *Precamb. Res.* 2009;170:61–72. doi: 10.1016/j.precamres.2008.12.003

Donskaya T. V., Gladkochub D. P. Post-collisional magmatism of 1.88–1.84 Ga in the southern Siberian Craton: an overview. *Precamb. Res.* 2021;367:106447. doi: 10.1016/j.precamres.2021.106447

Donskaya T. V., Gladkochub D. P., Sukneva M. O., Efremova U. S., Turkina O. M., Vakhromeev A. G., Demonterova E. I. Early Proterozoic granitoids of the central part of the Nepa-Botuoba antecline as indicators of the formation of the Trans-Siberian orogenic belt of the Siberian Craton. *Russ. Geol. Geophys.* 2025. (In Russ.). doi: 10.15372/GiG2025155

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 Sci.* 2024;517(1):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 Ilikta Formation: a record of the Akitkan Orogen evolution (southern Siberian Craton). *Russ. Geol. Geophys.* 2024;65(5):559–578. doi: 10.2113/RGG20234675

Gladkochub D. P., Pisarevsky S. A., Donskaya T. V., Natapov L. M., Mazukabzov A. M., Stanevich A. M., Sklyarov E. V. Siberian Craton and its evolution in terms of Rodinia hypothesis. *Episodes.* 2006;29(3):169–174. doi: 10.18814/epiiugs/2006/v29i3/00

Neymark L. A., Larin A. M., Nemchin A. A., Ovchinnikova G. V., Rytsk E. Yu. Anorogenic nature of magmatism in the Northern Baikal volcanic belt: evidence from geochemical, geochronological (U–Pb), and isotopic (Pb, Nd) data. *Petrology.* 1998;6(2): 124–148.

Popov N. V., Safonova I. Yu., Postnikov A. A., Terleev A. A., Komiya T., Tokarev D. A. Paleoproterozoic granitoids from the basement of the central Siberian Platform (borehole Mogdinskaya-6): U-Pb age and composition. *Doklady Earth Sci.* 2015;461(2):334–338. doi: 10.1134/S1028334X15040145

Priyatkina N., Ernst R. E., Khudoley A. K. A preliminary reassessment of the Siberian cratonic basement with new U-Pb-Hf detrital zircon data. *Precamb. Res.* 2020;340:105645. doi: 10.1016/j.precamres.2020.105645

Rosen O. M. Siberian Craton: tectonic zonation and evolution stages. *Geotectonics.* 2003;37(3): 175–192.

Samsonov A. V., Erofeeva K. G., Postnikov A. V., Spiridonov V. A., Larionova Yu. O., Larionov A. N., Terekhov A. V., Sabirov I. A., Spiridonov I. V., Dubensky A. S. Paleoproterozoic Taimyr-Baikal Orogen in the southern part of the Siberian Craton: boundaries, composition, and formation history based on well core studies. *Tektonika i geodinamika zemnoi kory i mantii: fundamental'nye problemy-2023: Mat-ly LIV Tektonicheskogo soveshchaniya = Tectonics and geodynamics of the Earth's crust and mantle: fundamental problems-2023: Proceedings of the LIV tectonic conference.* Vol. 2. Moscow: GEOS; 2023. P. 168–171. (In Russ.)

Savelyeva V. B., Danilova Yu. V., Shumilova T. G., Ivanov A. V., Danilov B. S., Bazarova E. P. Epigenetic graphitization in the basement of the Siberian Craton as evidence of the migration of hydrocarbon-enriched fluids in the Paleoproterozoic. *Doklady Earth Sci.* 2019;486(1):498–502. doi: 10.1134/S1028334X19050155

Turkina O. M., Plyusnin A. V., Donskaya T. V., Afonin I. V., Sanin S. S. Gneisses and granitoids of the basement of the Nepa-Botuoba anteklise: constraints for relation of the Archean and Paleoproterozoic crust in the boundary zone between the Tungus Superterrane and Magan Terrane (South Siberian Craton). *Petrology.* 2024;32(4):569–593. doi: 10.1134/S0869591124700139

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:

Донская Татьяна Владимировна

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

e-mail: tatiana_donskaya@mail.ru

Гладкочуб Дмитрий Петрович

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

e-mail: gladkochub@mail.ru

Туркина Ольга Михайловна

д-р геол.-мин. наук, ведущий научный сотрудник

e-mail: turkina@igm.nsc.ru

Ефремова Ульяна Сергеевна

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

e-mail: ulianavolpe@gmail.com

CONTRIBUTORS:

Donskaya, Tatiana

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

Gladkochub, Dmitry

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

Turkina, Olga

Dr. Sci. (Geol.-Miner.), Leading Researcher

Efremova, Uliana

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