

УДК 551.72; 551.24.056

ПЕТРОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ И ГЕОХРОНОЛОГИЧЕСКИЕ СВИДЕТЕЛЬСТВА РАННЕГО ЭТАПА ЭВОЛЮЦИИ ПАЛЕОАЗИАТСКОГО ОКЕАНА НА ЗАПАДНОЙ ОКРАИНЕ СИБИРСКОГО КРАТОНА

А. А. Крылов*, И. И. Лиханов

Институт геологии и минералогии СО РАН им. В. С. Соболева (пр. Акад. Коптюга, 3, Новосибирск, Россия, 630090), *krylov@igm.nsc.ru

Рассмотрены геологические, геохимические и изотопно-геохронологические свидетельства событий на заключительном этапе неопротерозойской истории Енисейского кряжа – от формирования фрагментов океанической коры в регионе и их аккреции к Сибирскому кратону до постаккреционной стадии растяжения коры и начала каледонского орогенеза. На основании анализа новых данных по петрогеохимическому составу, возрасту и геодинамической природе формирования контрастных пород в составе тектонического меланжа Приенисейской региональной сдвиговой зоны установлена хронологическая последовательность событий, маркирующая ранние стадии развития Палеоазиатского океана в зоне его сочленения с Сибирским кратоном. Эти события зафиксированы окраинно-континентальными, офиолитовыми и островодужными геологическими комплексами с различными геохимическими особенностями. Наиболее древние структуры представлены фрагментами океанической коры и островных дуг Исаковского террейна с возрастом 700–620 млн лет. Возраст образованных в зоне палеосубдукции продуктов глаукофансланцевого метаморфизма отвечает интервалу времени 640–620 млн лет. Формирование высокобарических тектонитов в шовной зоне с возрастом около 600 млн лет маркирует этап завершения аккреции Исаковского блока к западной окраине Сибирского кратона. Заключительные события в ранней истории палеоокеана были связаны с образованием поздневендских рифтогенных миндалекаменных базальтов ($572 \pm 6,5$ млн лет) и внедрением постколлизийных лейкогранитов Осинковского массива (550–540 млн лет), прорывающих ранние фрагменты океанической коры Исаковского террейна. Полученные данные позволяют уточнить стратиграфическую схему позднего докембрия на северо-западе заангарской части Енисейского кряжа и особенности эволюции Саяно-Енисейского аккреционного пояса. Установленные поздненеопротерозойские рубежи эволюции Исаковского террейна сопоставляются с заключительной фазой распада Родинии, отчленением Сибирского кратона и раскрытием Палеоазиатского океана.

Ключевые слова: тектонические обстановки; геодинамическая модель; Исаковский террейн; Енисейский кряж; Палеоазиатский океан

Для цитирования: Крылов А. А., Лиханов И. И. Петролого-геохимические и геохронологические свидетельства раннего этапа эволюции палеоазиатского океана на западной окраине Сибирского кратона // Труды Карельского научного центра РАН. 2025. № 5. С. 74–79. doi: 10.17076/geo2147

Финансирование. Работа выполнена за счет средств гранта РФФИ (проект № 21-77-20018-П).

A. A. Krylov*, I. I. Likhhanov. EARLY STAGES OF THE PALEO-ASIAN OCEAN EVOLUTION AT THE WESTERN MARGIN OF THE SIBERIAN CRATON: PETROLOGICAL, GEOCHEMICAL AND GEOCHRONOLOGICAL EVIDENCE

*Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences (3 Acad. Koptyug Ave., 630090 Novosibirsk, Russia), *krylov@igm.nsc.ru*

The paper explores the geological, geochemical, and isotope-geochronological evidence of the events at the final stage of the Neoproterozoic history of the Yenisei Range (starting from the formation of oceanic crust fragments in the region and their accretion to the Siberian Craton until the post-accretionary stage of crustal tension and onset of the Caledonian orogeny). Having analyzed new data on the petro-geochemical composition, age, and geodynamic nature of the formation of contrasting rocks composing the tectonic mélange of the Near-Yenisei (Prieniseiskaya) regional shear zone, we discovered a chronological sequence of events that marks the early stages of the Paleo-Asian Ocean evolution at its junction with the Siberian Craton. These events are documented by the continental marginal, ophiolitic, and island-arc geological complexes, each of which has different geochemical features. The most ancient structures are represented by fragments of the oceanic crust and island arcs from the Isakovka terrane (700–620 Ma). The age of the glaucophane-schist metamorphic units that formed in the paleosubduction zone corresponds to the time interval of 640–620 Ma. The formation of high-pressure tectonites in the suture zone, about 600 Ma BP, marks the final stage of the Isakovka block accretion to the western margin of the Siberian Craton. The final events in the early history of the Asian Paleo-ocean were related to the formation of Late Vendian riftogenic amygdaloidal basalts (572 ± 6.5 Ma) and intrusion of post-collisional leucogranites of the Osinovka massif (550–540 Ma), which cut through the earlier oceanic crust fragments in the Isakovka terrane. These data allow us to refine the Late Precambrian stratigraphic scheme in the northwestern Trans-Angarian part of the Yenisei Range and the evolutionary features of the Sayan–Yenisei accretionary belt. The revealed Late Neoproterozoic landmarks of the evolution of the Isakovka terrane are attributed to the terminal phase of the breakup of Rodinia, separation of the Siberian Craton, and opening of the Paleo-Asian Ocean.

Keywords: tectonic environments; geodynamic model; Isakovka terrane; Yenisei Range; Paleo-Asian Ocean

For citation: Krylov A. A., Likhhanov I. I. Early stages of the Paleo-Asian ocean evolution at the western margin of the Siberian Craton: petrological, geochemical and geochronological evidence. *Trudy Karelskogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2025. No. 5. P. 74–79. doi: 10.17076/geo2147

Funding. The study was funded by a Russian Science Foundation grant (project #21-77-20018-П).

Современная западная окраина Сибирского кратона представлена раннедокембрийским выступом фундамента (Ангарио-Канский блок) и мезоэопротерозойской окраинно-континентальной складчатой областью Енисейского кряжа. Докембрийские террейны (Исаковский и Предивинский), образованные преимущественно тектонизированными фрагментами офиолитов и островодужных комплексов, аккрецированы к окраине Сибирского кратона в венде [Лиханов и др., 2021]. Это аккреционно-коллизийное событие привело к формированию протяженного Енисей-Саяно-Байкальского складчатого пояса (ЕСБП) и существенному

наращиванию континентальной коры кратона [Добрецов, 2003]. Предполагается, что такие процессы в неопротерозойской истории этого региона могли быть связаны со становлением Палеоазиатского океана (ПАО) [Ярмолюк и др., 2006]. Согласно современным представлениям, ПАО образовался между Северо-Американским и Сибирским кратонами в результате распада суперконтинента Родиния в период от 1000–900 до 720 млн лет назад и существовал до конца палеозоя [Cawood et al., 2016]. ПАО понимается как система разновозрастных структур, которые сформировались в пределах океанической литосферы и затем в ходе

последующих эпох тектогенеза причленились к Сибирскому кратону [Reverdatto et al., 2019]. Этот этап отчетливо проявлен в узкой полосе вдоль современных западной и южной окраин Сибирского кратона. Данные события зафиксированы окраинно-континентальными, офиолитовыми и островодужными ассоциациями пород разного возраста и разной тектонической природы в составе докембрийских террейнов [Лиханов и др., 2018].

Вопросы связи этих террейнов с развитием ПАО и их последующей аккреции к Сибирскому кратону во многом еще далеки от окончательного решения, что повышает интерес к особенностям развития аккреционно-субдукционных структур в зонах перехода палеоокеан-континент. Это определяется дефицитом геохимических данных и возрастных датировок для геологических комплексов разной тектонической природы, вовлеченных в процессы формирования конвергентных границ, что существенно ограничивает возможности временных корреляций эволюции ПАО с глобальными геологическими процессами. В статье эти вопросы обсуждаются в связи с проблемой выделения основных рубежей в истории развития палеоокеана на западе Сибирского кратона на основе результатов современных геохимических и геохронологических исследований контрастных по составу пород из тектонического меланжа Приенисейской региональной сдвиговой зоны.

Анализ новых данных о развитии земной коры в регионе позволяет сформулировать следующие выводы, имеющие существенный геодинамический интерес. В последовательности геологических событий Енисейского кряжа изученные проявления основного магматизма и продукты их метаморфизма могли отражать различные этапы эволюции океанической коры.

Совокупность имеющихся датировок цирконов по магматическим комплексам Исаковского террейна в Заангарье Енисейского кряжа совместно с датировками вулканитов Предивинского террейна, расположенного на юге Енисейского кряжа, указывают на формирование офиолитов и островных дуг Приенисейской зоны в интервале 700–640 млн лет.

В конце неопротерозоя в диапазоне времени от 640 до 600 млн лет океаническая литосфера, фрагментом которой являлись базиты Исаковского террейна, субдуцировала под активную окраину Сибирского континента. Об этом же свидетельствует обнаружение в регионе эксгумированных блоков с проявлениями глаукофансланцевого метаморфизма – метаморфизованных членов офиолитовых разрезов – формирую-

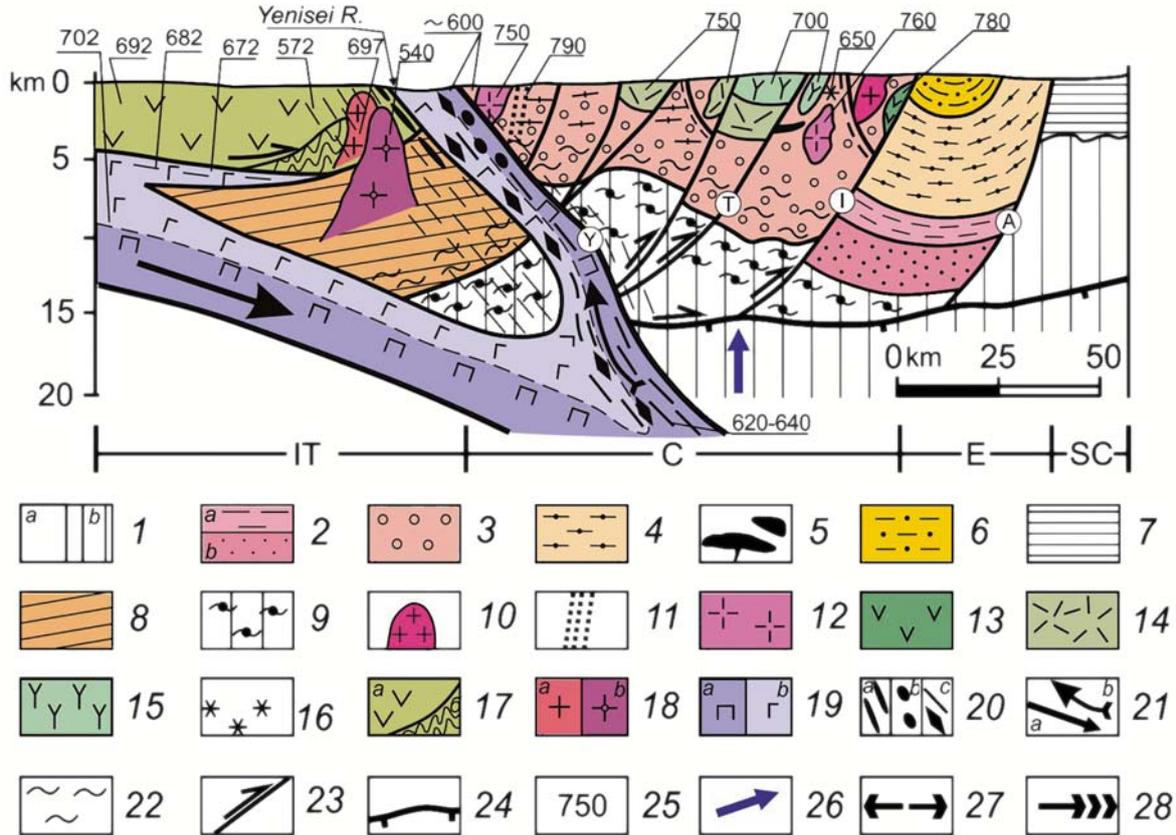
щихся в зоне палеосубдукции и являющихся ее прямым индикатором. Эти породы, локализованные в тектоническом шве на границе кратона с островодужно-океаническим Исаковским террейном, испытали два этапа метаморфизма. Петрогеохимические характеристики мафических тектонитов свидетельствуют о том, что их протолитами являлись базальты типа N-MORB и E-MORB. Образование более примитивных по химическому составу N-MORB-базальтов происходило на начальных этапах спрединга, когда плавлению подвергались верхние горизонты деплетированной мантии. Более высокотитанистые базальты образовались как продукты плавления обогащенного мантийного субстрата на более поздних этапах спрединга. U-Pb-возраст цирконов $701,6 \pm 8,4$ млн лет из метаморфизованных аналогов нормальных базальтов отвечает времени начала формирования океанической коры в регионе. Возраст глаукофансланцевого метаморфизма может отвечать интервалу от 640 до 620 млн лет. Это согласуется со временем формирования ряда высокобарических продуктов процессов субдукции (например, в Куртушибинском глаукофансланцевом и Северомуйском эклогитовом комплексах) в Центрально-Азиатском подвижном поясе [Лиханов и др., 2021].

На постсубдукционном этапе при эксгумации глаукофансланцевые породы попадали в Приенисейскую сдвиговую зону, где подвергались интенсивным деформациям с полной перекристаллизацией субстрата и образованием новых высокобарических минеральных парагенезисов. Формирование высокобарических тектонитов в шовной зоне с возрастом около 600 млн лет маркирует заключительный этап неопротерозойской истории Енисейского кряжа, связанный с завершением аккреции Исаковского блока к западной окраине Сибирского кратона [Likhonov et al., 2018]. Завершающие события в ранней истории палеоокеана были связаны с образованием поздневендских рифтогенных миндалекаменных базальтов ($572 \pm 6,5$ млн лет) и внедрением лейкогранитов Осиновского массива (550–540 млн лет), прорывающих ранние фрагменты океанической коры Исаковского террейна (рис.) [Лиханов и др., 2018].

Эти события имеют важное геодинамическое значение. Они фиксируют один из ранних этапов развития ПАО, начавшийся с момента его заложения и завершившийся в конце неопротерозоя байкальским орогенезом вдоль современной западной и южной окраин Сибирского континента (Енисейский кряж, Байкало-Патомское нагорье и Забайкалье).

← Late NP (0.79-0.54 Ga): break up of paleocontinent, rifting, bimodal and alkaline intraplate magmatism, opening of paleocean →

→ subduction/accretion of ophiolite and island-arc complexes, dynamometamorphism



Геодинамическая модель поздненеопротерозойской (0,79–0,54 млрд лет) эволюции северо-западной части Енисейского кряжа. Блоки: Ц – Центральный, В – Восточный, ИТ – Исаковский террейн; СК – Сибирский кратон.

1 – литосфера: *a* – океаническая, *b* – исходная кора; 2–6 – рифтогенно-депрессийные толщи (PP) и (MP): 2 – гаревский комплекс: *a* – тейская, *b* – малогаревская и немтихинская толщи (PP); 3 – (PP) и (MP) нерасчлененные; 4 – сухопитская серия (MP); 5 – метавулканыты (MP); 6 – тунгусикская серия (NP); 7 – (MP) и (NP) нерасчлененные; 8 – (PP-NP) нерасчлененные; 9 – кора мигматизированная; 10 – гранодиориты (NP₁); 11 – бимодальные дайки; 12 – граниты (NP₂); 13–16 – рифтогенные ассоциации (NP₃): 13 – плагиориолит-базальтовая, 14 – риолит-базальтовая, 15 – трахибазальт-трахитовая, 16 – щелочно-ультраосновная; 17–20 – Исаковский террейн (NP₃): 17 – породные комплексы: *a* – вулканыты, *b* – осадки, 18 – граниты: *a* – островодужные, *b* – постколлизийные, 19 – офиолиты: *a* – дуниты, перидотиты, *b* – метагаббро и метабазаьты, 20 – тектонические элементы: *a* – протрузии, *b* – меланж, *c* – метабазаьты; 21 – движение океанической коры: *a* – погружение, *b* – эксгумация; 22 – зоны растяжения; 23 – надвиги и сдвиги; 24 – зоны срывов; 25 – возраст, млн лет; 26 – направление теплового потока и движения вещества из глубинных зон; 27, 28 – тектонические обстановки: 27 – растяжения земной коры, 28 – аккрецияно-субдукциянные

Scheme of geodynamic events during the Late Neoproterozoic (0.79–0.54 Ga ago) evolution of the north-western Yenisei Ridge. Letters denote the blocks: C – Central, E – Eastern, IT – Isakovka terrane, SC – Siberian Craton.

1 – lithosphere: *a* – oceanic, *b* – initial crust; 2–6 – riftogenic-depressional strata (PP) and (MP): 2 – Garevka complex: *a* – Teya stratum, *b* – Malogarevskaya and Nemtikha strata (PP); 3 – undifferentiated (PP) and (MP); 4 – Sukhoi Pit Series (MP); 5 – metavolcanic rocks (MP); 6 – Tungusik Series (NP); 7 – undifferentiated (MP) and (NP); 8 – undifferentiated (PP-NP); 9 – migmatized crust; 10 – granodiorites (NP₁); 11 – bimodal dikes; 12 – granites (NP₂); 13–16 – riftogenic complexes (NP₃): 13 – plagiortholite-basaltic, 14 – rhyolite-basaltic, 15 – trachybasalt-trachytic, 16 – alkaline-ultramafic; 17–20 – Isakovka terrane (NP₃): 17 – rock complexes: *a* – arc volcanites, *b* – sediments, 18 – granites: *a* – arc, *b* – postcollisional, 19 – ophiolites: *a* – dunites and peridotites, *b* – metagabbros and metabasalts, 20 – tectonic elements: *a* – protrusions, *b* – melange, *c* – metabasites; 21 – movement of oceanic crust: *a* – sinking, *b* – exhumation; 22 – extension zones; 23 – thrusts and strike-slips with slip directions; 24 – detachment zones; 25 – age, Ma; 26 – direction of thermal flow and material motion from interior zones; 27, 28 – tectonic settings: 27 – crustal tension, 28 – accretionary-subduction

Установленные позднепротерозойские рубежи эволюции Исаковского террейна хорошо согласуются с данными по эволюции ПАО в южном сегменте ЕСБП, опирающимися на датировки детритовых цирконов пород складчатого обрамления юга Сибирского кратона [Cawood et al., 2016; Gladkochub et al., 2019]. В глобальном масштабе эти этапы сопоставляются с заключительной фазой распада Родинии, фиксирующей отчленение Сибирского кратона от Лаврентии и раскрытие ПАО с последующими процессами субдукции, аккреции и динамометаморфизма [Kontorovich et al., 1997; Likhanov, Santosh, 2004; Лиханов и др., 2011; Likhanov et al., 2019; Likhanov, 2022].

Литература

Добрецов Н. Л. Эволюция структур Урала, Казахстана, Тянь-Шаня и Алтае-Саянской области в Урало-Монгольском складчатом поясе (Палеоазиатский океан) // Геология и геофизика. 2003. Т. 44, № 1-2. С. 5–27.

Лиханов И. И., Ревердатто В. В., Козлов П. С., Вершинин А. Е. Тейский полиметаморфический комплекс в Заангарье Енисейского кряжа – пример совмещенной зональности фациальных серий низких и умеренных давлений // ДАН. 2011. Т. 436, № 4. С. 509–514.

Лиханов И. И., Зиновьев С. В., Козлов П. С. Бластомилонитовые комплексы западной части Енисейского кряжа (Восточная Сибирь, Россия): геологическая позиция, эволюция метаморфизма и геодинамические модели // Геотектоника. 2021. № 1. С. 412–465. doi: 10.31857/S0016853X21010070

Лиханов И. И., Ножкин А. Д., Савко К. А. Аккреционная тектоника комплексов западной окраины Сибирского кратона // Геотектоника. 2018. № 1. С. 28–51. doi: 10.7868/S0016853X18010022

Ярмолюк В. В., Коваленко В. И., Ковач В. П., Рыцк Е. Ю., Козаков И. К., Котов А. Б., Сальникова Е. Б. Ранние стадии формирования Палео-Азиатского океана: результаты геохронологических, изотопных и геохимических исследований поздне-рифейских и венд-кембрийских комплексов Центрально-Азиатского складчатого пояса // ДАН. 2006. Т. 410, № 5. С. 657–663.

Cawood P. A., Strachan R. A., Pisarevsky S. A., Gladkochub D. P., Murphy J. B. Linking collisional and accretionary orogens during Rodinia assembly and breakup: implications for models of supercontinent cycles // *Earth Planet. Sci. Lett.* 2016. Vol. 449. P. 118–126. doi: 10.1016/j.epsl.2016.05.049

Gladkochub D. P., Donskaya T. V., Stanevich A. M., Motova Z. L., Mazukabzov A. V., Pisarevsky S. A., Zhang S., 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

Kontorovich A. E., Khomenko A. V., Burshtein L. M., Likhanov I. I., Pavlov A. L., Staroseltsev V. S., Ten A. A. Intense basic magmatism in the Tunguska petroleum basin, Eastern Siberia, Russia // *Pet. Geosci.* 1997. Vol. 3, pt. 4. P. 359–369. doi: 10.1144/petgeo.3.4.359

Likhanov I. I. Provenance, age and tectonic settings of rock complexes (Transangarian Yenisei Ridge, East Siberia): geochemical and geochronological evidence // *Geosciences (Switzerland)*. 2022. Vol. 12, no. 11. Art. 402. doi: 10.3390/geosciences12110402

Likhanov I. I., Santosh M. A-type granites in the western margin of the Siberian Craton: implications for breakup of the Precambrian supercontinents Columbia/Nuna and Rodinia // *Precamb. Res.* 2019. Vol. 328. P. 128–145. doi: 10.1016/j.precamres.2019.04.018

Likhanov I. I., Polyansky O. P., Reverdatto V. V., Memmi I. Evidence from Fe- and Al-rich metapelites for thrust loading in the Transangarian Region of the Yenisei Ridge, Eastern Siberia // *J. Metamorph. Geol.* 2004. Vol. 22. P. 743–762. doi: 10.1111/j.1525-1314.2004.00546.x

Likhanov I. I., Régnier J.-L., Santosh M. Blueschist facies fault tectonites from the western margin of the Siberian Craton: implications for subduction and exhumation associated with early stages of the Paleo-Asian Ocean // *Lithos*. 2018. Vol. 304–307. P. 468–488. doi: 10.1016/j.lithos.2018.02.021

Reverdatto V. V., Likhanov I. I., Polyansky O. P., Sheplev V. S., Kolobov V. Y. The nature and models of metamorphism. Cham: Springer; 2019. 330 p. doi: 10.1007/978-3-030-03029-2

References

Cawood P. A., Strachan R. A., Pisarevsky S. A., Gladkochub D. P., Murphy J. B. Linking collisional and accretionary orogens during Rodinia assembly and breakup: implications for models of supercontinent cycles. *Earth Planet. Sci. Lett.* 2016;449:118–126. doi: 10.1016/j.epsl.2016.05.049

Dobretsov N. L. Evolution of structures of the Urals, Kazakhstan, Tien Shan, and Altai-Sayan region within the Ural-Mongolian Fold Belt (Paleo-Asian Ocean). *Geologiya i geofizika = Geology and Geophysics*. 2003;44 (1-2):5–27. (In Russ.)

Gladkochub D. P., Donskaya T. V., Stanevich A. M., Motova Z. L., Mazukabzov A. V., Pisarevsky S. A., Zhang S., 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

Kontorovich A. E., Khomenko A. V., Burshtein L. M., Likhanov I. I., Pavlov A. L., Staroseltsev V. S., Ten A. A. Intense basic magmatism in the Tunguska petroleum basin, Eastern Siberia, Russia. *Pet. Geosci.* 1997;3(4): 359–369. doi: 10.1144/petgeo.3.4.359

Likhanov I. I., Reverdatto V. V., Kozlov P. S., Verшинин A. E. The Teya polymetamorphic complex in the Transangarian Yenisei Ridge: an example of metamorphic superimposed zoning of low- and medium-pressure facies series. *Doklady Earth Sciences*. 2011;436(2):213–218. doi: 10.1134/S1028334X11020048

Likhanov I. I., Zinoviev S. V., Kozlov P. S. Blastomylonite complexes of the Western Yenisei Ridge (Eastern Siberia, Russia): geological position, metamorphic evolution and geodynamic models. *Geotectonics*. 2021;55(1):36–57. doi: 10.1134/S0016852121010076

Likhanov I. I., Nozhkin A. D., Savko K. A. Accretionary tectonics of rock complexes in the western margin of the Siberian Craton. *Geotektonika = Geotectonics*. 2018;52(1):22–44. doi: 10.1134/S0016852118010107

Likhanov I. I. Provenance, age and tectonic settings of rock complexes (Transangarian Yenisei Ridge, East Siberia): geochemical and geochronological evidence. *Geosciences (Switzerland)*. 2022;12(11):402. doi: 10.3390/geosciences12110402

Likhanov I. I., Santosh M. A-type granites in the western margin of the Siberian Craton: implications for breakup of the Precambrian supercontinents Columbia/Nuna and Rodinia. *Precamb. Res.* 2019;328:128–145. doi: 10.1016/j.precamres.2019.04.018

Likhanov I. I., Polyansky O. P., Reverdatto V. V., Memmi I. Evidence from Fe- and Al-rich metapelites

for thrust loading in the Transangarian Region of the Yenisey Ridge, Eastern Siberia. *J. Metamorph. Geol.* 2004;22(8):743–762. doi: 10.1111/j.1525-1314.2004.00546.x

Likhanov I. I., Régnier J.-L., Santosh M. Blueschist facies fault tectonites from the western margin of the Siberian Craton: implications for subduction and exhumation associated with early stages of the Paleo-Asian Ocean. *Lithos*. 2018;304-307:468–488. doi: 10.1016/j.lithos.2018.02.021

Reverdatto V. V., Likhanov I. I., Polyansky O. P., Sheplev V. S., Kolobov V. Y. The nature and models of metamorphism. Cham: Springer Geology; 2019. 330 p. doi: 10.1007/978-3-030-03029-2

Yarmolyuk V. V., Kovalenko V. I., Kovach V. P., Rytsk E. Yu., Kozakov I. K., Kotov A. B., Sal'nikova E. B. Early stages of the Paleo-Asian Ocean formation: results of geochronological, isotopic, and geochemical investigations of Late Riphean and Vendian–Cambrian complexes in the Central Asian Foldbelt. *Doklady Earth Sciences*. 2006;411:1184–1189.

Поступила в редакцию / received: 25.07.2025; принята к публикации / accepted: 18.08.2025.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interest.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Крылов Александр Александрович

младший научный сотрудник

e-mail: krylov@igm.nsc.ru

Лиханов Игорь Иванович

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

e-mail: likh@igm.nsc.ru

CONTRIBUTORS:

Krylov, Alexander

Junior Researcher

Likhanov, Igor

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