

УДК 55 (084.3)

ТИПИЗАЦИЯ ПОЛОСЧАТЫХ ЖЕЛЕЗИСТЫХ КВАРЦИТОВ КОСТОМУКШСКОГО ЗЕЛЕНОКАМЕННОГО ПОЯСА КАРЕЛЬСКОГО КРАТОНА ПО ПЕТРОМАГНИТНЫМ ДАННЫМ

Н. В. Лубнина^{1*}, Т. Р. Зарипов¹, О. А. Максимов², А. В. Андреев¹,
А. И. Слабунов²

¹ Геологический факультет МГУ имени М. В. Ломоносова (Ленинские горы, 1, Москва, Россия, 119234), *lubninanv@my.msu.ru

² Институт геологии КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН» (ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185910)

В результате петро-палеомагнитных исследований удалось типизировать по магнитным свойствам полосчатые железистые кварциты (BIF) из различных ассоциаций Костомукшского зеленокаменного пояса. Установлено, что основными минералами-носителями намагниченности в образцах BIF-2 и BIF-4 являются однодоменный магнетит и моноклинный пирротин. Последний фиксируется по характерному подъему на кривых остывания в районе 350 °С. Показано, что магнетит в породах однодоменный и «капсулирован» в зернах кварца. Изучение анизотропии магнитной восприимчивости (AMS) позволило разделить сильно- и слабомагнитные образцы: в сильномагнитных образцах преобладает высокая степень анизотропии, связанная с преобразованием магнитной фракции и перемагничиванием пород. Высокая степень AMS в образцах BIF-2 и неогархейских (2710 млн лет) конгломератов связана с преобладанием в породах моноклинного пирротина, имеющего слоистую структуру. Слабомагнитные образцы преимущественно анизотропны. Детальные магнитные чистки позволили выделить в изученных образцах как минимум две компоненты намагниченности. Среднее направление выделенной во всех сайтах низкотемпературной компоненты намагниченности близко к направлению «Свекофеннского перемагничивания» для Карельского кратона. В образцах BIF-2 среднее направление высокотемпературной компоненты намагниченности близко к таковому в неогархейских конгломератах и совпадает с направлением «Лапландско-Кольского перемагничивания» (~1,96 млрд лет). Выделенные метакронные компоненты намагниченности свидетельствуют в пользу неравномерного перемагничивания пород, даже в пределах одной толщи. В образцах мезогархейских (2,8 млрд лет) риолитов и палеопротерозойских (2,42 млрд лет) габбро, возможно, выделены первичные компоненты намагниченности 2,72 и 2,42 млрд лет соответственно. Отмечается избирательное перемагничивание различных по составу пород.

Ключевые слова: Костомукшский зеленокаменный пояс; полосчатые железистые кварциты; архей; Карельский кратон; пирротин; магнетит; петромагнетизм; перемагничивание

Для цитирования: Лубнина Н. В., Зарипов Т. Р., Максимов О. А., Андреев А. В., Слабунов А. И. Типизация полосчатых железистых кварцитов Костомукшского зеленокаменного пояса Карельского кратона по петромагнитным данным // Труды Карельского научного центра РАН. 2025. № 5. С. 91–97. doi: 10.17076/geo2164

Финансирование. Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение задания ИГ КарНЦ РАН по теме FMEN-2023-0009 и геологического факультета МГУ имени М. В. Ломоносова № АААА-А16-116033010119-4. Палеомагнитные измерения выполнены в петромагнитной лаборатории геологического факультета МГУ на приборах, закупленных по Программе развития МГУ.

N. V. Lubnina^{1*}, T. R. Zaripov¹, O. A. Maksimov², A. V. Andreev¹, A. I. Slabunov². TYPIFICATION OF BANDED IRON FORMATIONS OF THE KOSTOMUKSHA GREENSTONE BELT (FENNOSCANDIAN SHIELD): PETROMAGNETIC EVIDENCE

¹ *Lomonosov Moscow State University, Department of Geology (1 Leninskie Gory, 119991 Moscow, Russia), *lubninanv@my.msu.ru*

² *Institute of Geology, Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences (11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia)*

As a result of petro-paleomagnetic studies, banded iron formations (BIF) have been typified by their magnetic properties. The main magnetization carrier minerals in BIF 2 and BIF-4 samples are single-domain magnetite and monoclinic pyrrhotite. The latter is identified by a characteristic rise in the cooling curves at 350 °C. It is shown that magnetite in the rocks is single-domain and 'encapsulated' in quartz grains. Investigation of the Anisotropy of magnetic susceptibility (AMS) permitted differentiating between highly and weakly magnetic samples: highly magnetic samples are dominated by a high degree of anisotropy associated with the transformation of the magnetic fraction and remagnetization of the rocks. The high AMS in the BIF-2 samples and Neoproterozoic conglomerates (2710 Ma) is associated with the predominance of layered-structure monoclinic pyrrhotite in the rocks. Weakly magnetic samples are predominantly anisotropic. Definitive stepwise demagnetization allowed us to distinguish at least two magnetization components in the studied samples. The average direction of the low-temperature component identified in all sites is near-aligned with the Svecofennian remagnetization for the Karelian Craton. The average direction of the high-temperature component in BIF-2 samples is close to that in Neoproterozoic conglomerates and coincides with the direction of the Lapland-Kola remagnetization (ca. 1.96 Ga). The identified metachronous magnetization components testify to uneven remagnetization of rocks within the same stratum. The Mesoproterozoic (2.8 Ga) rhyolite and Paleoproterozoic (2.42 Ga) gabbro samples may contain primary magnetization components dated to 2.72 and 2.42 Ga, respectively. Selective remagnetization of rocks differing in composition is observed.

Keywords: Kostomuksha Greenstone Belt; banded iron formation; Archean; Karelian Craton; pyrrhotite; magnetite; petromagnetism; remagnetization

For citation: Lubnina N. V., Zaripov T. R., Maksimov O. A., Andreev A. V., Slabunov A. I. Typification of banded iron formations of the Kostomuksha Greenstone Belt (Fennoscandian Shield): Petromagnetic Evidence. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2025. No. 5. P. 91–97. doi: 10.17076/geo2164

Funding. This study was funded from the Russian federal budget through state assignment to the Institute of Geology KarRC RAS (FMEN-2023-0009) and Faculty of Geology, Lomonosov Moscow State University (АААА-А16-116033010119-4). Paleomagnetic measurements were carried out at MSU Petromagnetic Laboratory using equipment purchased under MSU Development Program.

Полосчатые железистые кварциты (BIF) – породы, которые формировались только в раннем докембрии, являются незаменимым источником информации об экологии древней Земли и главной железной рудой в мире. Знание физических свойств, химического состава, метаморфических преобразований BIF

имеет решающее значение как для понимания состава древних океанов, атмосферы и процессов осадконакопления в океане, так и для оценки качества руд [Bekker et al., 2010; Медведев, 2024]. Поскольку в составе BIF главные рудные минералы – магнетит и гематит, изучение петро- и палеомагнитных параметров

может иметь важное значение для оценки экономического потенциала железной руды, а также реконструкции геодинамических условий на ранних этапах развития Земли.

Костомукшский зеленокаменный пояс (КЗП) находится в центральной части Карельского кратона [Slabunov et al., 2024 и ссылки в ней] (рис. 1, А) и является главной железорудной структурой региона. В зеленокаменном комплексе КЗП установлены полосчатые железистые кварциты, ассоциирующие с мезоархейскими метакоматиит-базальтами контокской серии (BIF-1) и с мезо-неоархейскими кислыми метавулканитами шурловаарской свиты (BIF-2); с неоархейскими метаграувакками

и кислыми метавулканитами костомукшской свиты (BIF-3) и с неоархейскими метаграувакками (BIF-4) [Горьковец и др., 1991; Слабунов и др., 2025а]. Геохронологические исследования BIF показали сложную полиметаморфическую историю пород: сформировавшись в мезо- и неоархее, они претерпевали метаморфические преобразования 2,73–2,70, 2,66, около 2,4, 1,8–1,9, 1,45 млрд лет [Слабунов и др., 2021, 2025а, б; Slabunov et al., 2024].

Для палеомагнитных исследований были отобраны породы BIF-2 и BIF-4 КЗП. Опробование проводилось по сайтовой методике. В четырех сайтах было выпилено от 3 до 10 штучков размером 20×15×5 см (рис. 1).

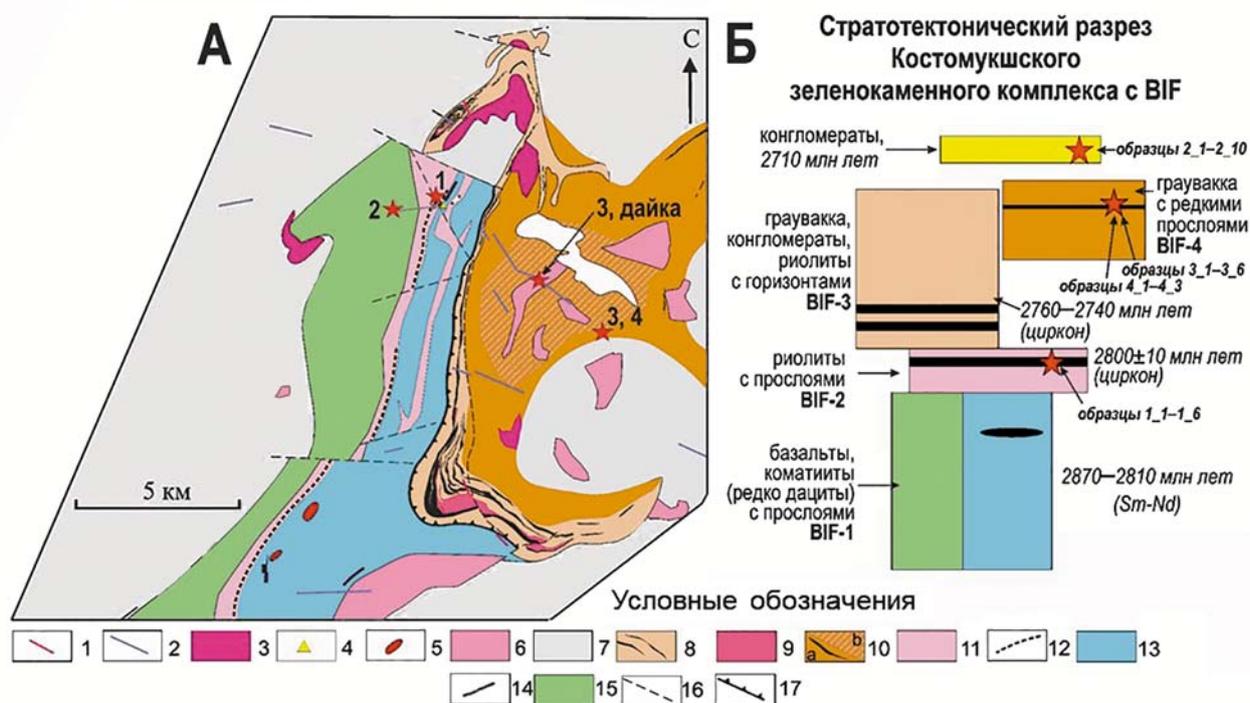


Рис. 1. Схема геологического строения Костомукшского зеленокаменного пояса (А) и стратотектонический разрез его зеленокаменного комплекса (Б) [по: Слабунов, Исаченко, 2024; Слабунов и др., 2025а] с изменениями.

Звездочками показано расположение сайтов (номера сайтов – цифры около звездочек), в которых изучены петромагнитные свойства BIF. Условные обозначения: 1 – неопротерозойские (1,2 млрд лет) лампроиты и кимберлиты; 2 – палеопротерозойские (2,40 и 2,14 млрд лет) долериты; 3–9 – неоархейские: 3 – граниты (2,68 млрд лет); 4 – полимиктовые конгломераты (2,71 млрд лет); 5 – санукитоиды (2,71 млрд лет); 6 – граниты (2,72 млрд лет); 7 – гранитоиды ТТГ-ассоциации (2,8–2,75 млрд лет); 8–10 – породы гимольской серии: 8 – метаграувакки с прослоями BIF-3 (2,76–2,74 млрд лет); 9 – силлы и дайки метариолитов (геллефлинты) (2,76–2,74 млрд лет); 10 – метаосадки сурлампиинской свиты с прослоями BIF: а – слабо- и б – сильномигматизированные; 11–14 – мезоархейские (2,87–2,78 млрд лет) породы контокской серии: 11 – туфы, туффиты риолитов (шурловаарская свита); 12 – прослой BIF-2; 13 – коматиит-базальтовый с дацитами комплекс (рувинваарская свита); 14 – прослой BIF-1; 15 – базальты и коматииты (ниемиярвинская свита); 16 – разломы; 17 – надвиг

Fig. 1. Schematic geological map of the Kostomuksha Greenstone Belt (A) and stratotectonic section of the greenstone complex (B) after [Slabunov, Isachenko, 2024; Slabunov et al., 2025a] with changes.

Stars indicate the sites location (site numbers are given near the stars), where the BIF rocks were collected for petromagnetic studies. 1 – Neoproterozoic (1.2 Ga) lamproites and kimberlites; 2 – Paleoproterozoic (2.40 and 2.14 Ga) dolerites; 3–9 – Neoproterozoic: 3 – 2.68 Ga granites; 4 – 2.71 Ga polymictic conglomerates; 5 – 2.71 Ga sanukitoids; 6 – 2.72 Ga granites; 7 – 2.8–2.75 Ga TTG granitoids; 8–10 – rocks of the Gimoly Group: 8 – 2.76–2.74 Ga metagraywackes with BIF-3 interlayers; 9 – 2.76–2.74 Ga sills and dikes of metarhyolites (gelleflints); 10 – metasediments of the Surlampi Formation with BIF interlayers: a – weakly and b – strongly migmatized; 11–14 – Mesoproterozoic (2.87–2.78 Ga) Kontokki Group: 11 – tuffs, tuffites of rhyolites (Surlovaara Formation); 12 – BIF-2 interlayers; 13 – komatiite-basalt with dacites complex (Ruvinvaaara Formation); 14 – BIF-1 interlayers; 15 – basalts and komatiites (Niemijärvi Formation); 16 – faults; 17 – thrusts

Следует отметить, что при палеомагнитном опробовании под сайтом подразумевается геологически однородный участок, в пределах которого точно отбирается группа образцов (обычно 5–10 штучков или спилов), содержащих идентичный палеомагнитный сигнал. При этом обязательным условием является одновременное приобретение породами компонент намагниченности. Для проведения теста контакта отобраны мезоархейские метабазальты контоксской серии, мезо-неоархейские (2800 ± 10 млн лет [Мыскова и др., 2020]) метариолиты шурловаарской свиты, неоархейские (2,71 млрд лет [Слабунов и др., 2025a]) конгломераты и палеопротерозойская (2404 млн лет [Степанова и др., 2017]) дайка долеритов (сайты 1 и 2 на рис. 1).

Петро-палеомагнитные исследования позволили типизировать BIF по магнитной текстуре и выделенным метакронным компонентам намагниченности. Исследования проводились в петромагнитной лаборатории геологического факультета МГУ имени М. В. Ломоносова по стандартной методике [Храмов и др., 1982].

Во всех изученных образцах в низкотемпературном/низкокоэрцитивном интервале выделена компонента северо-западного склона и умеренного положительного наклона. Среднее направление этой компоненты совпадает с направлением 1,86 млрд лет для Карельского кратона [Mertanen et al., 2006; Lubnina et al., 2025].

Образцы BIF-2 сильномагнитны – величины магнитной восприимчивости (χ) и естественной остаточной намагниченности (NRM) имеют значительный разброс от $3,1 \times 10^{-2}$ до $4,2 \times 10^{+00}$ ед. СИ и от $22,04 \times 10^{-2}$ до $140,44 \times 10^{+00}$ А/м соответственно. Величина общей степени анизотропии (Pj) также имеет значительный разброс от 1,24 до 6,70. В породах преобладает плоскостной тип анизотропии AMS. Высокие значения Pj указывают на вторичную магнитную текстуру и более позднее перемагничивание пород. Выделена одна метакронная компонента СВВ склонения и умеренного положительного наклона (рис. 2). Полученный палеомагнитный полюс совпадает с полюсом 1,96 млрд лет для Карельского кратона [Lubnina et al., 2025].

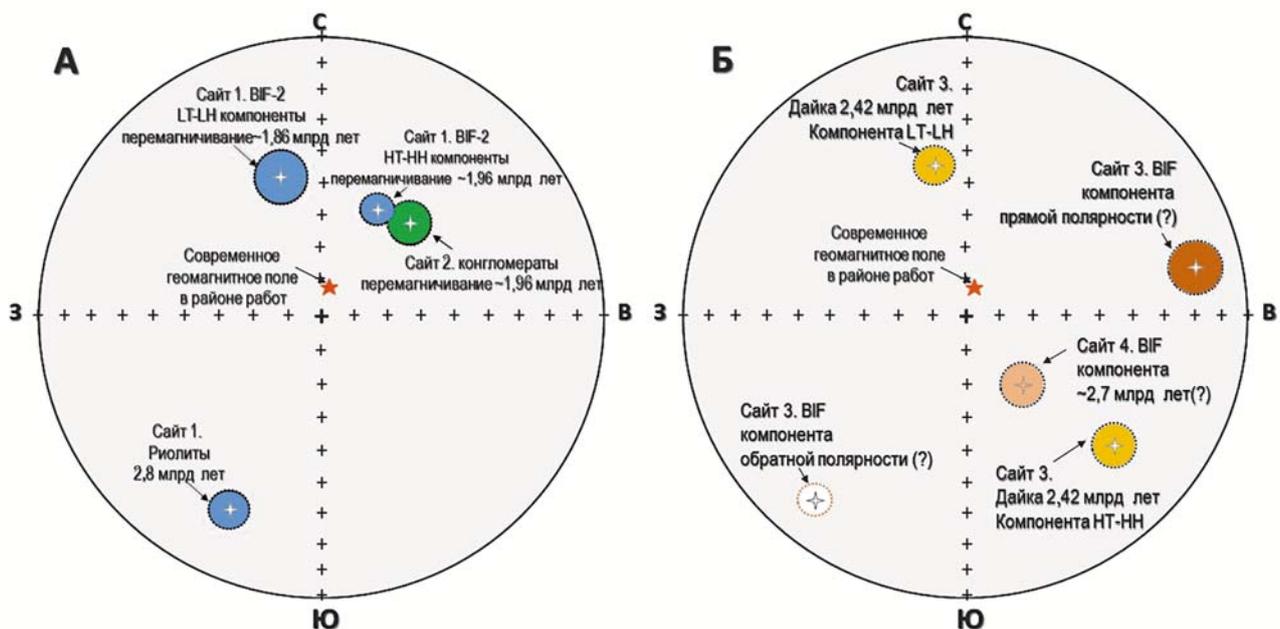


Рис. 2. Средние направления выделенных метакронных компонент на уровне образцов с кругами 95% доверия в географической (современной) системе координат:

А – для образцов, отобранных в сайтах 1–2; Б – для образцов, отобранных в сайтах 3–4. Звездочкой показано направление современного геомагнитного поля в районе работ

Fig. 2. Mean directions of identified metachronous components at sample level with 95% confidence circle in the geographic (present day) coordinate system:

A – for samples collected from sites 1–2; Б – for samples collected from sites 3–4. The stars show the direction of the present day geomagnetic field in the studied area

Образцы вмещающих метариолитов слабомагнитны, α $490\text{--}890 \times 10^{-6}$ ед. СИ, NRM – $2,76\text{--}14,2 \times 10^{-3}$ А/м, а P_j – $1,007\text{--}1,037$. Преобладает плоскостной тип анизотропии. Возможно, в образцах сохранилась первичная магнитная текстура. Среднее направление выделенной метакронной компоненты имеет ЮЗ склонение и низкое положительное наклонение, значительно отличается от таковых в образцах BIF-2 и близко к направлению 2,7 млрд лет для Карельского кратона [Lubnina, Slabunov, 2017]. Формально тест контакта положительный, что свидетельствует в пользу первичной природы выделенной в BIF-2 компоненты. Однако высокая степень P_j и совпадение с направлением «Лапландско-Кольского перемагничивания» 1,96 млрд лет скорее говорит об избирательном перемагничивании различных по составу пород (рис. 2).

Величина α в образцах BIF-4 изменяется в пределах $7,37\text{--}32,0 \times 10^{-1}$ ед. СИ, P_j – $1,60\text{--}2,70$. Преобладает линейный тип магнитной текстуры. Высокая степень анизотропии и линейная (вторичная для железистых кварцитов) магнитная текстура указывает на более позднее перемагничивание пород. В образцах выделена одна метакронная компонента прямой и обратной полярности. Для части образцов из контактовой зоны она имеет ВСВ склонение и низкое положительное наклонение, для другой части – ЮЗ склонение и отрицательное наклонение. Средние направления не антиподальны (рис. 2). Полученный палеомагнитный полюс близок к полюсу 1,50–1,45 млрд лет для Восточно-Европейского кратона [Lubnina et al., 2010].

В образцах долеритовой дайки α не превышает $61\text{--}76 \times 10^{-3}$ ед. СИ, NRM – $15,05\text{--}287,0 \times 10^{-1}$ А/м, а P_j – от $1,03\text{--}1,07$. Преобладает плоскостной тип анизотропии. Высокотемпературная компонента имеет ЮЮВ склонение и умеренное положительное наклонение. Палеомагнитный полюс совпадает с полюсом 2,40 млрд лет для Карельского кратона [Mertanen et al., 2006; Lubnina et al., 2025].

Образцы неоархейских конгломератов четко разделяются по величине α : светлые гальки слабомагнитные ($\alpha = 6,3\text{--}98 \times 10^{-5}$ ед. СИ, P_j не превышает 6–11 %), а темноцветные – сильномагнитные ($\alpha = 0,21\text{--}0,98 \times 10^{-3}$ ед. СИ, P_j – 0,5–3,4%). И в слабомагнитных, и в сильномагнитных образцах преобладает плоскостной тип анизотропии. Трехосная форма эллипсоида AMS свидетельствует в пользу вторичной магнитной текстуры. В образцах конгломератов выделена только одна компонента ССВ склонения и умеренно-высокого положительного наклонения. Среднее направ-

ление этой компоненты близко к направлению высокотемпературной компоненты в образцах BIF-2 (породы перемагничены ~ 1,96 млрд лет назад).

В результате петро-палеомагнитных исследований удалось типизировать по магнитным свойствам BIF различных ассоциаций. Выделенные метакронные компоненты намагниченности свидетельствуют в пользу неравномерного перемагничивания пород, даже в пределах одной толщи. Это хорошо согласуется с результатами геохронологических исследований BIF, указывающих на неоднократное и часто локальное проявление термальных процессов. В образцах мезоархейских риолитов и палеопротерозойских габбро, возможно, выделены первичные компоненты намагниченности 2,72 и 2,42 млрд лет соответственно.

Литература

- Горьковец В. Я., Раевская М. Б., Володичев О. И., Голованова Л. С. Геология и метаморфизм железисто-кремнистых формаций Карелии / Отв. ред. М. М. Стенарь; АН СССР, Карел. фил., Ин-т геологии. Л.: Наука, 1991. 176 с.
- Медведев П. В. Полосчатые железистые формации докембрия: палеоэкологические и палеобиологические аспекты // Труды Карельского научного центра РАН. 2024. № 6. С. 17–29. doi: 10.17076/geo1953
- Мыскова Т. А., Милькевич Р. И., Львов П. А., Житникова И. А. Неоархейские вулканиты Хедозеро-Большозерской зеленокаменной структуры Центральной Карелии: состав, возраст и тектоническая обстановка // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2020. Т. 28, № 2. С. 3–32. doi: 10.31857/S0869592X20020040
- Слабунов А. И., Исаченко А. А. Литогеохимия полосчатых железистых кварцитов шурловаарской свиты Костомукшского зеленокаменного пояса (Карельский кратон) // Труды Карельского научного центра РАН. 2024. № 6. С. 30–50. doi: 10.17076/geo1950
- Слабунов А. И., Нестерова Н. С., Мудрук С. В., Максимов О. А., Кервинен А. В. Находка неоархейских (2,71 млрд лет) конгломератов в Костомукшском железорудном районе: к вопросу о самой молодой стратотектонической ассоциации архея Карельского кратона // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. 2025а. Т. 520, № 1. С. 33–46. doi: 10.31857/S2686739725010041
- Слабунов А. И., Кервинен А. В., Сальникова Е. Б., Ерофеева К. Г., Дубенский А. С. Новое мезопротерозойское (1546 млн лет) термальное событие в Центрально-Карельском террейне Карельского кратона: по результатам датирования цирконов из неоархейских кислых вулканитов Костомукшского зеленокаменного пояса // Труды Карельского научного центра РАН. 2025б. № 5. С. 124–129. doi: 10.17076/geo2150

Слабунов А. И., Нестерова Н. С., Егоров А. В., Кулешевич Л. В., Кевлич В. И. Геохимия, геохронология цирконов и возраст архейской железорудной толщи Костомукшского зеленокаменного пояса Карельского кратона Фенноскандинавского щита // Геохимия. 2021. Т. 66, № 4. С. 291–307. doi: 10.31857/S0016752521040063

Степанова А. В., Сальникова Е. Б., Самсонов А. В., Ларионова Ю. О., Егорова С. В., Саватенков В. М. Дайки долеритов 2404 млн лет на Карельском кратоне – фрагмент палеопротерозойской крупной магматической провинции // ДАН. 2017. Т. 472, № 2. С. 185–191. doi: 10.7868/S0869565217020232

Храмов А. Н., Гончаров Г. И., Комиссарова Р. А., Писаревский С. А., Погарская И. А., Ржевский Ю. С., Родионов В. П., Слауцитайс И. П. Палеомагнитология / Под ред. А. Н. Храмова. Л.: Недра, 1982. 312 с.

Bekker A., Slack J. F., Planavsky N., Krapez B., Hofmann A., Konhauser K. O., Rouxel O. J. Iron formation: The sedimentary product of a complex interplay among mantle, tectonic, oceanic, and biospheric // *Econ. Geol.* 2010. Vol. 105. P. 467–508. doi: 10.2113/gsecongeo.105.3.46

Lubnina N. V., Bychkov A. Yu., Tarasov N. A., Osadchii V. O., Miklyaeva E. P. Stages of the Paleoproterozoic chemical remagnetization of the Kivakka layered intrusion and its geodynamic setting during the breakup of the Precambrian supercontinents // *Moscow Univ. Geol. Bull.* 2025. Vol. 80, no. 1. P. 17–27. doi: 10.3103/S0145875225700127

Lubnina N., Mertanen S., Soderlund U., Bogdanova S., Vasilieva T., Frank-Kamenetsky D. A new key pole for the East European Craton at 1452 Ma: palaeomagnetic and geochronological constraints from mafic rocks in the Lake Ladoga region (Russian Karelia) // *Precambrian Res.* 2010. Vol. 183(3). P. 442–462. doi: 10.1016/j.precamres.2010.02.014

Lubnina N. V., Slabunov A. I. The Karelian Craton in the structure of the Kenorland Supercontinent in the Neoproterozoic: new paleomagnetic and isotope geochronology data on granulites of the Onega Complex // *Moscow Univ. Geol. Bull.* 2017. Vol. 72, no. 6. P. 377–390. doi: 10.3103/S0145875217060072

Mertanen S., Vuollo J. I., Huhma H., Arestova N. A., Kovalenko A. Early Paleoproterozoic–Archean dykes and gneisses in Russian Karelia of the Fennoscandian Shield – new paleomagnetic, isotope age and geochemical investigations // *Precambrian Res.* 2006. Vol. 144. P. 239–260.

Slabunov A. I., Lobach-Zhuchenko S. B., Bibikova E. V., Sorjonen-Ward P., Balangansky V. V., Volodichev O. I., Shchipansky A. A., Svetov S. A., Chekulaev V. P., Arestova N. A., Stepanov V. S. The Archean nucleus of the Fennoscandian (Baltic) Shield // *European Lithosphere Dynamics* / D. G. Gee, R. A. Stephenson (eds). Geological Society, London, Memoirs. 2006. Vol. 32(1). P. 627–644. doi: 10.1144/GSL.MEM.2006.035.01.37

Slabunov A. I., Kervinen A. V., Nesterova N. S., Maksimov O. A., Medvedev P. V. Zircon from banded iron formation as a sensitive indicator of its polychronous background: a case study on the Kostomuksha

Greenstone Belt, Karelian Craton, Fennoscandian Shield // *Int. Geol. Rev.* 2024. Vol. 66, no. 6. P. 1321–1333. doi: 10.1080/00206814.2023.2248501

References

Bekker A., Slack J. F., Planavsky N., Krapez B., Hofmann A., Konhauser K. O., Rouxel O. J. Iron formation: The sedimentary product of a complex interplay among mantle, tectonic, oceanic, and biospheric. *Econ. Geol.* 2010;105:467–508. doi: 10.2113/gsecongeo.105.3.46

Gor'kovets V. Ya., Raevskaya M. B., Volodichev O. I., Golovanova L. S. Geology and metamorphism of the ferro-siliceous formations of Karelia. Leningrad: Nauka; 1991. 176 p. (In Russ.)

Khramov A. N., Goncharov G. I., Komissarova R. A., Pisarevskii S. A., Pogarskaya I. A., Rzhnevskii Yu. S., Rodionov V. P., Slautsitais I. P. Paleomagnetology. Leningrad: Nedra; 1982. 312 p. (In Russ.)

Lubnina N. V., Bychkov A. Yu., Tarasov N. A., Osadchii V. O., Miklyaeva E. P. Stages of the Paleoproterozoic chemical remagnetization of the Kivakka layered intrusion and its geodynamic setting during the breakup of the Precambrian supercontinents. *Moscow Univ. Geol. Bull.* 2025;80(1):17–27. doi: 10.3103/S0145875225700127

Lubnina N., Mertanen S., Soderlund U., Bogdanova S., Vasilieva T., Frank-Kamenetsky D. A new key pole for the East European Craton at 1452 Ma: palaeomagnetic and geochronological constraints from mafic rocks in the Lake Ladoga region (Russian Karelia). *Precambrian Res.* 2010;183(3):442–462. doi: 10.1016/j.precamres.2010.02.014

Lubnina N. V., Slabunov A. I. The Karelian Craton in the structure of the Kenorland Supercontinent in the Neoproterozoic: new paleomagnetic and isotope geochronology data on granulites of the Onega Complex. *Moscow Univ. Geol. Bull.* 2017;72(6):377–390. doi: 10.3103/S0145875217060072

Medvedev P. V. Precambrian banded iron formation: paleoecological and paleobiological aspects. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of Karelian Research Centre RAS.* 2024;6:17–29. (In Russ.). doi: 10.17076/geo1950

Mertanen S., Vuollo J. I., Huhma H., Arestova N. A., Kovalenko A. Early Paleoproterozoic–Archean dykes and gneisses in Russian Karelia of the Fennoscandian Shield – new paleomagnetic, isotope age and geochemical investigations. *Precambrian Res.* 2006;144:239–260.

Myskova T. A., Mil'kevich R. I., L'vov P. A., Zhitnikova I. A. Neoproterozoic volcanites of the Khedozero-Bolshozero greenstone structure of Central Karelia: composition, age and tectonic setting. *Stratigrafiya. Geologicheskaya korrelyatsiya = Stratigraphy and Geological Correlation.* 2020;28(2):3–32. (In Russ.). doi: 10.31857/S0869592X20020040

Slabunov A. I., Isachenko A. A. Litho-geochemistry of the Shurlovaara banded iron formation, Kostomuksha Greenstone Belt, Karelian Craton, Russia. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS.* 2024;6:30–50. (In Russ.). doi: 10.17076/geo1950

Slabunov A. I., Lobach-Zhuchenko S. B., Bibikova E. V., Sorjonen-Ward P., Balangansky V. V., Volodichev O. I., Shchipansky A. A., Svetov S. A., Chekulaev V. P., Arestova N. A., Stepanov V. S. The Archean nucleus of the Fennoscandian (Baltic) Shield. *European Lithosphere Dynamics. Geological Society, London, Memoirs*. 2006;32(1):627–644. doi: 10.1144/GSL.MEM.2006.035.01.37

Slabunov A. I., Kervinen A. V., Nesterova N. S., Maksimov O. A., Medvedev P. V. Zircon from banded iron formation as a sensitive indicator of its polychronous background: a case study on the Kostomuksha Greenstone Belt, Karelian Craton, Fennoscandian Shield. *Int. Geol. Rev.* 2024;66(6):1321–1333. doi: 10.1080/00206814.2023.2248501

Slabunov A. I., Kervinen A. V., Sal'nikova E. B., Erofeeva K. G., Dubenskii A. S. A new Mesoproterozoic (1546 Ma) thermal event in the Central Karelian terrane of the Karelian Craton: results of dating zircon from Neoarchean felsic rock of the Kostomuksha Greenstone Belt. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research*

Centre RAS. 2025;5:124–129. (In Russ.). doi: 10.17076/geo2150

Slabunov A. I., Nesterova N. S., Egorov A. V., Kuleshevich L. V., Kevlich V. I. Age of the Archean strata with banded iron formation in the Kostomuksha Greenstone Belt, Karelian Craton, Fennoscandian Shield: constraints on the geochemistry and geochronology of zircons. *Geochemistry International*. 2021;59(4):341–356. doi: 10.1134/S0016702921040066

Slabunov A. I., Nesterova N. S., Mudruk S. V., Maksimov O. A., Kervinen A. V. Finding of Neoarchean (2.71 Ga) conglomerates in the Kostomuksha iron ore province: on the youngest Archean stratotectonic association of the Karelian Craton. *Doklady Earth Sciences*. 2025;520(1):29–42. doi: 10.31857/S26867397250104e9

Stepanova A. V., Egorova S. V., Salnikova E. B., Savatenkov V. M., Samsonov A. V., Larionova Yu. O. The 2405 Ma doleritic dykes in the Karelian Craton: a fragment of a Paleoproterozoic large igneous province. *Doklady Earth Sciences*. 2017;472(1):72–77. doi: 10.1134/S1028334X17010196

Поступила в редакцию / received: 28.07.2025; принята к публикации / accepted: 08.08.2025.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interest.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Лубнина Наталия Валерьевна

д-р геол.-мин. наук, профессор

e-mail: lubninanv@my.msu.ru

Зарипов Тимур Рифхатович

студент

e-mail: zaripov.tim00zaripov@yandex.ru

Максимов Олег Александрович

канд. геол.-мин. наук, научный сотрудник

e-mail: olemaximov@mail.ru

Андреев Андрей Владимирович

техник

e-mail: andreeff19659011@yandex.ru

Слабунов Александр Иванович

д-р геол.-мин. наук, главный научный сотрудник,
руководитель лаборатории геологии и геодинамики
докембрия

e-mail: slabunov@krc.karelia.ru

CONTRIBUTORS:

Lubnina, Natalia

Dr. Sci. (Geol.-Miner.), Professor

Zaripov, Timur

Student

Maksimov, Oleg

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

Andreev, Andrey

Technician

Slabunov, Alexander

Dr. Sci. (Geol.-Miner.), Head of Laboratory, Chief Researcher