

УДК 55 (084.3)

БЕЛОМОРСКИЙ ПОДВИЖНЫЙ ПОЯС В СОСТАВЕ СУПЕРКОНТИНЕНТА НУНА/КОЛУМБИЯ: НОВЫЕ ПАЛЕОМАГНИТНЫЕ И ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

Н. В. Лубнина^{1*}, А. И. Слабунов², А. В. Степанова², Н. С. Нестерова²

¹ Геологический факультет МГУ имени М. В. Ломоносова (Ленинские горы, 1, Москва, Россия, 119991), *natalia.lubnina@gmail.com

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

Анализ истории формирования Беломорского подвижного пояса (БПП) позволял предполагать, что метаморфические преобразования габброидов сопровождались их перемагничиванием, а латеральные вариации компонент намагниченности могут нести информацию о временной последовательности вывода в верхние уровни коры западного форланда Лапландско-Кольского орогена (ЛКО). Становление последнего происходило в период сборки суперконтинента Нуна/Колумбия. В результате комплексных исследований метаморфизованных палеопротерозойских магматических комплексов документально установлен закономерный тренд перемагничивания в породах БПП. Показано, что фронт перемагничивания распространялся здесь с северо-запада на юго-восток, и он, вероятно, связан с особенностями коллизионных процессов при формировании ЛКО. Кроме того, в южной части БПП и ЮВ Карельского кратона установлено перемагничивание, возраст которого оценивается в 1,65–1,60 млрд лет, связанное, вероятно, с завершающими эпизодами становления Свекофеннского орогена.

Ключевые слова: Беломорский подвижный пояс; палеопротерозой; суперконтинент; Нуна/Колумбия; палеомагнетизм; геодинамические реконструкции; перемагничивание

Для цитирования: Лубнина Н. В., Слабунов А. И., Степанова А. В., Нестерова Н. С. Беломорский подвижный пояс в составе суперконтинента Нуна/Колумбия: новые палеомагнитные и геологические данные // Труды Карельского научного центра РАН. 2022. № 5. С. 85–90. doi: 10.17076/geo1663

N. V. Lubnina^{1*}, A. I. Slabunov², A. V. Stepanova², N. S. Nesterova². BELOMORIAN MOBILE BELT AS PART OF THE NUNA/COLUMBIA SUPERCONTINENT: NEW PALEOMAGNETIC AND GEOLOGICAL DATA

¹ M. V. Lomonosov Moscow State University, Department of Geology (1 Leninskie Gory, 119991 Moscow, Russia), *natalia.lubnina@gmail.com

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

Analysis of the evolution of the Belomorian Mobile Belt (BMB) suggests that the metamorphism of gabbroic rocks was accompanied by their remagnetization and that lateral variations in magnetization constituents carry evidence for the time sequence of the extension of the western foreland of the Lapland-Kola orogen (LKO) to upper crustal levels. The latter formed during the Nuna/Columbia Supercontinent assembly. An integrated study of metamorphosed Paleoproterozoic igneous complexes revealed a remagnetization trend in BMB rocks. The study showed that the remagnetization front spread from the north-west to the south-east and that it is likely to be due to the collision pattern upon LKO formation. In addition, remagnetization was revealed in the southern BMB and in the southeastern Karelian Craton, dated at 1.65–1.60 Ga. It seems to be due to the final episodes of the Svecofennian orogen formation.

Keywords: Belomorian Mobile Belt; Paleoproterozoic; supercontinent; Nuna/Columbia; paleomagnetism; geodynamic reconstructions; remagnetization

For citation: Lubnina N. V., Slabunov A. I., Stepanova A. V., Nesterova N. S. Belomorian Mobile Belt as part of the Nuna/Columbia Supercontinent: new paleomagnetic and geological data. *Trudy Karelskogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2022;5:85–90. doi: 10.17076/geo1663

Беломорский подвижный пояс (БПП) Фенно-скандинавского щита (рис.) – крупная структура, расположенная между Карельским архейским кратоном и ядром палеопротерозойского Лапландско-Кольского коллизионного орогена [Ранний..., 2005; Слабунов, 2008]. В настоящее время многими исследователями БПП рассматривается как форланд Лапландско-Кольского орогена, а его тектоническая структура – как суперпозиция неоархейских и палеопротерозойских тектонических процессов [Ранний..., 2005; Слабунов и др., 2021].

БПП сложен главным образом мезо- и неоархейскими мигматизированными гранито-гнейсами, метавулканогенными и парагнейсовыми комплексами. Его отличительные черты – неоднократное проявление интенсивных деформаций и метаморфизма в обстановке повышенного и умеренного давления как в неоархее, так и в палеопротерозое [Слабунов, 2008 и ссылки в этой работе]. Граница БПП со смежными структурами окончательно сформировалась в палеопротерозое, а результаты датирования ультраметаморфических мигматитовых комплексов указывают на формирование ее в период 1,94–1,88 млрд лет [Слабунов и др., 2016].

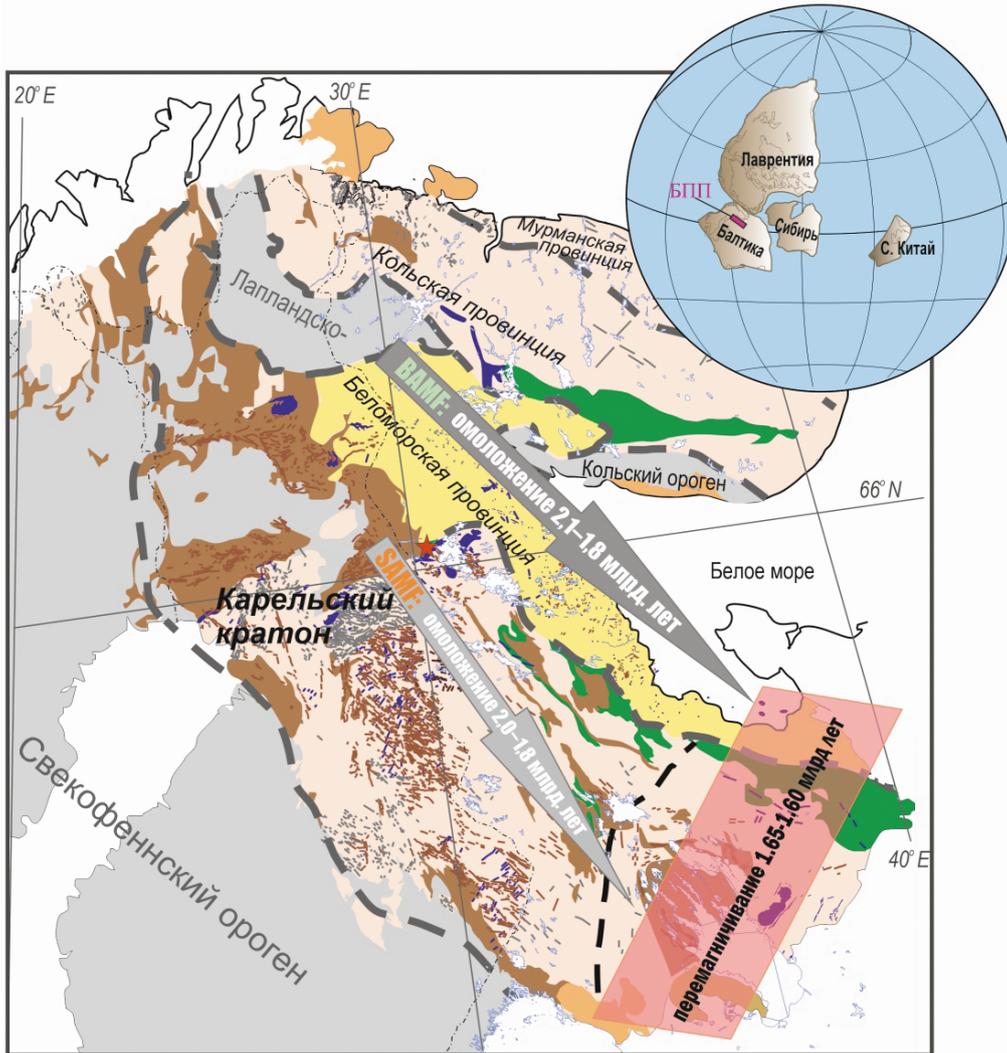
Характерной особенностью БПП является широкое распространение в его пределах палеопротерозойских интрузивных образований, возраст которых варьирует от 2,50 до 2,12 млрд лет [Stepanova et al., 2021]. Среди палеопротерозойских интрузивных комплексов БПП установлены дайки и довольно крупные интрузивы (например, Ковдозерский, Кийостровский), но наиболее характерными и преобладающими являются небольшие фрагменты интрузивов. Их характерные особенности – линзовидная

форма, тектонизированные контакты, расщелачивание пород эндоконтактной части, которое субсогласно с гнейсовидностью вмещающих пород.

Наиболее распространенными среди палеопротерозойских габброидов БПП являются дайки и малые интрузии комплекса лерцоцитов-габброноритов [Степанов, 1981], время формирования которого оценивается в 2,43–2,39 млрд лет [Stepanova et al., 2021 и ссылки в этой работе]. Породы этого комплекса выделяются среди других палеопротерозойских интрузивных образований БПП тем, что часто сохраняют реликты первичных магматических структур и минералов, а также фрагменты первичных магматических контактов с вмещающими породами. Вторая группа габброидов, широко распространенная в БПП, – высокожелезистые базиты (гранатовые или коронитовые метагаббро) [Степанов, 1981], возраст которых по единичным определениям оценивается в 2,12–2,18 млрд лет [Stepanova, Stepanov, 2010; Березин, Скублов, 2014]. Железистые базиты в БПП не сохраняют (или крайне редко сохраняют) реликты первичных минералов и сложены преимущественно метаморфическими клинопироксеном, плагиоклазом, амфиболом и гранатом, но в них часто диагностируются реликты магматических структур. Палеопротерозойские габброиды других возрастных групп распространены в БПП ограниченно [Stepanova et al., 2021 и ссылки в этой работе].

Степень метаморфических преобразований в палеопротерозойских габброидах БПП варьирует от эклогитовой [Слабунов и др., 2011; Березин и др., 2012] до умеренно-барической амфиболитовой/гранулитовой фации [Ранний..., 2005].

НУНА/КОЛУМБИЯ (1.65 - 1.60 млрд. лет)



Условные обозначения:



Палеопротерозойское перемагничивание в породах БПП и Карельского кратона Фенноскандинавского щита. На врезке: реконструкция суперконтинента Нуна/ Колумбия (1,65–1,60 млрд лет) и расположение БПП:

1 – осадочные комплексы и граниты рапакиви 1,58–1,48 млрд лет; 2 – вулканогенно-осадочные комплексы 1,80–1,66 млрд лет; 3 – Лапландско-Кольский и Свеккофеннский орогены, 1,8–2,0 млрд лет; 4 – вулканогенно-осадочные комплексы 2,3–1,8 млрд лет; 5 – вулканогенно-осадочные комплексы 2,5–2,3 млрд лет; 6 – вулканогенно-осадочные комплексы и магматические породы > 2,5 млрд лет; 7 – архейские комплексы Беломорского подвижного пояса; 8 – основные интрузивные породы 2,5–2,3 млрд лет; 9 – основные магматические породы 2,3–1,98 млрд лет; 10 – нерасчлененные мафические дайки > 1,98 млрд лет; 11 – границы террейнов Карельского кратона; 12 – тренды палеопротерозойского перемагничивания: в БПП (BAMF) и сопряженной части Карельского кратона (SAMF); 13 – перемагничивание 1,65–1,60 млрд лет

Paleoproterozoic remagnetization in the BMB and Karelian Craton rocks of the Fennoscandian Shield. Inset: reconstruction of the 1.65–1.60 Ga Nuna/Columbia Supercontinent and BMB location:

1 – 1.58–1.48 Ga sedimentary complexes and rapakivi granites; 2 – 1.80–1.66 Ga volcanic-sedimentary complexes; 3 – 1.8–2.0 Ga Lapland-Kola and Svecofennian orogens; 4 – 2.3–1.8 Ga volcanic-sedimentary complexes; 5 – 2.5–2.3 Ga volcanic-sedimentary complexes; 6 – >2.5 Ga volcanic-sedimentary complexes and igneous rocks; 7 – Archean complexes of the Belomorian Mobile Belt; 8 – 2.5–2.3 Ga mafic intrusive rocks; 9 – 2.3–1.98 Ga mafic igneous rocks; 10 – >1.98 Ga undivided mafic dikes; 11 – Karelian Craton terrain boundaries; 12 – Paleoproterozoic remagnetization trends: in BMB (BAMF) and in the conjugate portion of the Karelian Craton (SAMF); 13 – 1.65–1.60 Ga remagnetization

Определена зональность степени их преобразований [Степанов, 1981]: эцлогитизированные базиты установлены только в восточной и северо-восточной части БПП (район с. Гридино, Керетский архипелаг, Салмы), а вблизи границы с Карельским кратоном породы часто сохраняют реликты первичных минералов и метаморфические преобразования в них выражены в формировании тонких реакционных каем граната и амфибола. Метаморфические преобразования габброидов обусловили, как предполагалось, их перемагничивание, а латеральные вариации компонент намагниченности являются отражением временной последовательности вывода в верхние уровни коры западного форланда Лапландско-Кольского орогена. Становление последнего происходило в период сборки суперконтинента Нуна/Колумбия (рис., врезка).

Для определения пространственного распределения вторичных компонент намагниченности изучены объекты вдоль траверса Апатиты – Петрозаводск, который пересекает БПП с северо-востока на юго-запад под острым углом, и в южном Беломорье, на островах Онежской губы Белого моря между г. Беломорском на севере и г. Онега на юге. Объекты южного Беломорья, максимально удаленные от северной части Лапландско-Кольского орогена, расположены вблизи его предполагаемого юго-восточного продолжения [Самсонов и др., 2011]. Отдельное внимание было уделено изучению эцлогитизированных базитов в районе с. Гридино, где установлено несколько возрастных генераций эцлогитов, различающихся как по времени формирования эцлогитовых парагенезисов (архейских и палеопротерозойских), так и по составу и возрасту протолитов [Володичев и др., 2004; Слабунов и др., 2011, 2021; Максимов и др., 2022].

В результате комплексных исследований палеопротерозойских магматических комплексов установлен закономерный тренд перемагничивания [Lubnina et al., 2015, 2016]. Показано, что фронт перемагничивания распространялся с северо-запада на юго-восток, что хорошо согласуется с результатами изотопного датирования этих же комплексов (рис.). Полученный тренд перемагничивания, возможно, отражает особенности выведения в верхние части земной коры пород форланда Лапландско-Кольского коллизионного орогена [Ранний..., 2005] в ходе палеопротерозойской коллизии (рис.). Кроме того, в южной части БПП и ЮВ Карельского кратона установлено перемагничивание (возраст которого оценивается в 1,65–1,60 млрд лет (рис.)), связанное, вероятно, с завершающими эпизодами становления Свекофеннского орогена.

Установлена зависимость процессов перемагничивания от состава пород [Lubnina et al., 2016; Lubnina, Tarasov, 2019]. Степень сохранности вторичных ранних и поздних компонент намагниченности, возможно, связана не только с составом протолитов, но и с различными условиями преобразований пород, в том числе их флюидонасыщенностью.

Литература

Березин А. В., Травин В. В., Марин Ю. Б., Скублов С. Г., Богомолов Е. С. Новые данные о возрасте (U-Pb, Sm-Nd) и P-T параметрах эцлогитизации даек Fe-габбро района Гридино (Беломорский подвижный пояс) // ДАН. 2012. Т. 444(6). С. 644–649.

Володичев О. И., Слабунов А. И., Бибикина Е. В., Конилов А. Н., Кузенко Т. И. Архейские эцлогиты Беломорского подвижного пояса (Балтийский щит) // Петрология. 2004. Т. 12(6). С. 609–631.

Максимов О. А., Балаганский В. В., Слабунов А. И., Ларионов А. Н. Два этапа высокобарного метаморфизма в раннедокембрийских эцлогитах (район Гридино Беломорской провинции Фенноскандинавского щита): петрология и геохронология // Петрология. 2022. Т. 30, № 2. С. 140–165. doi: 10.31857/S0869590322020042

Ранний докембрий Балтийского щита / Ред. В. А. Глебовицкий. СПб.: Наука, 2005. 711 с.

Самсонов А. В., Третьяченко В. В., Носова А. А., Ларионова Ю. О., Лепехина Е. Н., Ларионов А. Н., Ипатьева И. С. Фундамент Архангельской алмазодной провинции как Ю-В часть Лапландско-Кольского коллизионного орогена // Гранулитовые и эцлогитовые комплексы в истории Земли: Мат-лы науч. конф. и путеводитель научных экскурсий. Петрозаводск, 2011. С. 196–198.

Слабунов А. И. Геология и геодинамика архейских подвижных поясов (на примере Беломорской провинции Фенноскандинавского щита). Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2008. 298 с.

Слабунов А. И., Балаганский В. В., Щипанский А. А. Мезоархей-палеопротерозойская эволюция земной коры Беломорской провинции Фенноскандинавского щита и тектоническая позиция эцлогитов // Геология и геофизика. 2021. Т. 62, № 5. С. 648–675. doi: 10.15372/GiG2021116

Слабунов А. И., Азимов П. Я., Глебовицкий В. А., Жанг Л., Кевлич В. И. Архейская и палеопротерозойская мигматизации пород Беломорской провинции Фенноскандинавского щита: петрология, геохронология, геодинамические следствия // ДАН. 2016. Т. 467(1). С. 71–74. doi: 10.7868/S0869565216070239

Слабунов А. И., Володичев О. И., Скублов С. Г., Березин А. В. Главные стадии формирования палеопротерозойских эцлогитизированных габбро-норитов по результатам U-Pb (SHRIMP) датирования цирконов и изучения их генезиса // ДАН. 2011а. Т. 437(2). С. 238–242.

Степанов В. С. Основной магматизм докембрия Западного Беломорья. Л.: Наука, 1981. 216 с.

Lubnina N. V., Slabunov A. I., Stepanova A. V., Bubnov A. Yu., Kosevich N. I., Novikova M. A., Tarasov N. A. The Paleoproterozoic remagnetization trend in rocks of the Belomorian Mobile Belt: Paleomagnetic and geologic evidence // *Moscow University Geology Bulletin*. 2016. Vol. 71, no. 5. P. 311–322. doi: 10.3103/S0145875216050082

Lubnina N. V., Tarasov N. A. A Paleomagnetic study of Sariolian conglomerates of the Onega Structure of the Karelian Protocraton: The problem of global Paleoproterozoic remagnetization // *Moscow University Geology Bulletin*. 2019. Vol. 74, no. 1. P. 15–26. doi: 10.3103/S0145875219010095

Lubnina N. V., Zakharov V. S., Novikova M. A., Vorontsova V. P. Paleoproterozoic remagnetization in the White Sea Mobile Belt, Karelia: Petro-paleomagnetic evidence and supercomputer modeling // *Moscow University Geology Bulletin*. 2015. Vol. 70, no. 2. P. 84–96. doi: 10.3103/S0145875215020052

Stepanova A. V., Stepanov V. S., Larionov A. N., Salnikova E. B., Samsonov A. V., Azimov P., Egorova S. V., Larionova Y. O., Sukhanova M. A., Kervinen A. V., Maksimov O. A. Relicts of Palaeoproterozoic LIPs in the Belomorian Province, eastern Fennoscandian Shield: barcode reconstruction for a deeply eroded collisional orogen // *Geological Society. London Spec. Publ.* 2021a. Vol. 518. doi: 10.1144/SP518-2021-30

Stepanova A., Stepanov V. Paleoproterozoic mafic dyke swarms of the Belomorian Province, eastern Fennoscandian Shield // *Precambrian Res.* 2010. Vol. 183(3). P. 602–616. doi: 10.1016/j.precamres.2010.08.016

References

Berezin A. V., Travin V. V., Marin Yu. B., Skublov S. G., Bogomolov E. S. New data on the age (U-Pb, Sm-Nd) and P-T parameters of eclogitization of Fe-gabbro dikes in the Gridino area (Belomorsk Mobile Belt). *Doklady Earth Sciences*. 2012;444(6):644–649. (In Russ.)

Glebovitskii V. A. (ed.). Early Precambrian of the Baltic Shield. St. Petersburg: Nauka; 2005. 711 p. (In Russ.)

Lubnina N. V., Slabunov A. I., Stepanova A. V., Bubnov A. Yu., Kosevich N. I., Novikova M. A., Tarasov N. A. The Paleoproterozoic remagnetization trend in rocks of the Belomorian Mobile Belt: Paleomagnetic and geologic evidence. *Moscow University Geology Bulletin*. 2016;71(5):311–322. doi: 10.3103/S0145875216050082

Lubnina N. V., Tarasov N. A. A Paleomagnetic study of Sariolian Conglomerates of the Onega Structure of the Karelian Protocraton: The problem of global Paleoproterozoic remagnetization. *Moscow University Geology Bulletin*. 2019;74(1):15–26. doi: 10.3103/S0145875219010095

Lubnina N. V., Zakharov V. S., Novikova M. A., Vorontsova V. P. Paleoproterozoic remagnetization in the White Sea Mobile Belt, Karelia: Petro-paleomagnetic evidence and supercomputer modeling. *Moscow*

University Geology Bulletin. 2015;70(2):84–96. doi: 10.3103/S0145875215020052

Maksimov O. A., Balagansky V. V., Slabunov A. I., Larionov A. N. Two high-pressure metamorphic events in Early Precambrian eclogites of the Gridino Area (Belomorian Province of the Fennoscandian Shield): petrology and geochronology. *Petrology*. 2022;30(2):140–165. doi: 10.31857/S0869590322020042 (In Russ.)

Samsonov A. V., Tretyachenko V. V., Nosova A. A., Larionova Y. O., Lepekhina E. N., Larionov A. N., Ipatyeva I. S. The basement of the Arkhangelsk diamondiferous Province as the southeastern part of the Lapland-Kola collisional orogen. *Granulitovye i eklogitovye komplekсы v istorii Zemli: Mat-ly nauch. konf. i putevoditel' nauchnykh ekskursii = Granulite and eclogite complexes in the history of the Earth: Proceedings conf. and guide of scientific excursions*. Petrozavodsk; 2011. P. 196–198. (In Russ.)

Slabunov A. I. Geology and geodynamics of the Archean Mobile Belts (on the example of the White Sea Province of the Fennoscandian Shield). Petrozavodsk: KarRC RAS, 2008. 298 p. (In Russ.)

Slabunov A. I., Balagansky V. V., Shchipansky A. A. Mesoarchean to Paleoproterozoic crustal evolution of the Belomorian Province, Fennoscandian Shield, and the tectonic setting of eclogites. *Russian Geology and Geophysics*. 2021;62(5):525–546 doi: 10.2113/RGG20204266

Slabunov A. I., Kevlich V. I., Azimov P. Y., Glebovitskii V. A., Zhang L. Archean and palaeoproterozoic migmatizations in the Belomorian Province, Fennoscandian Shield: petrology, geochronology, and geodynamic settings. *Doklady Earth Sciences*. 2016;467(1):259–263. doi: 10.1134/S1028334X16030077

Slabunov A. I., Volodichev O. I., Skublov S. G., Berezin A. V. Main stages of the formation of paleoproterozoic eclogitized gabbro-norite: evidence from U-PB (shrimp) dating of zircons and study of their genesis. *Doklady Earth Sciences*. 2011;437(1):396–400. doi: 10.1134/S1028334X11030202

Stepanov V. S. Basic magmatism of the Precambrian of the Western White Sea. Leningrad: Nauka; 1981. 216 p. (In Russ.)

Stepanova A. V., Stepanov V. S., Larionov A. N., Salnikova E. B., Samsonov A. V., Azimov P., Egorova S. V., Larionova Y. O., Sukhanova M. A., Kervinen A. V., Maksimov O. A. Relicts of Palaeoproterozoic LIPs in the Belomorian Province, eastern Fennoscandian Shield: barcode reconstruction for a deeply eroded collisional orogen. *Geological Society. London Spec. Publ.* 2021a;518. doi: 10.1144/SP518-2021-30

Stepanova A., Stepanov V. Paleoproterozoic mafic dyke swarms of the Belomorian Province, eastern Fennoscandian Shield. *Precambrian Res.* 2010;183(3):602–616. doi: 10.1016/j.precamres.2010.08.016

Volodichev O. I., Slabunov A. I., Kuzenko T. I., Bibikova E. V., Konilov A. N. Archean eclogites in the Belomorian Mobile Belt, Baltic Shield. *Petrology*. 2004;12(6):540–560.

Поступила в редакцию / received: 19.08.2022; принята к публикации / accepted: 25.08.2022.
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: natalia.lubnina@gmail.com

Слабунов Александр Иванович

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

e-mail: slabunov@krc.karelia.ru

Степанова Александра Владимировна

канд. геол.-мин. наук, заместитель директора, ведущий
научный сотрудник

e-mail: stepanov@krc.karelia.ru

Нестерова Наталья Сергеевна

канд. геол.-мин. наук, научный сотрудник лаборатории
геологии и геодинамики докембрия

e-mail: nesterovan@krc.karelia.ru

CONTRIBUTORS:

Lubnina, Natalia

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

Slabunov, Alexander

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

Stepanova, Alexandra

Cand. Sci. (Geol.-Miner.), Deputy Director, Leading Researcher

Nesterova, Natalia

Cand. Sci. (Geol.-Miner.), Researcher, Precambrian Geology
and Geodynamics Laboratory