

УДК 553.546 : 551.71 (470.22)

ПОЛИХРОННАЯ ИСТОРИЯ ФОРМИРОВАНИЯ НЕОАРХЕЙСКИХ ПОЛОСЧАТЫХ ЖЕЛЕЗИСТЫХ КВАРЦИТОВ ГЛАВНОЙ РУДНОЙ ТОЛЩИ КОСТОМУКШСКОГО ЗЕЛЕНОКАМЕННОГО ПОЯСА: ВОЗРАСТ ЦИРКОНОВ И АКЦЕССОРНЫЕ МИНЕРАЛЫ

А. И. Слабунов*, **А. В. Кервинен**, **Н. С. Нестерова**, **А. В. Егоров**,
О. А. Максимов, **П. В. Медведев**

*Институт геологии КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН» (ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185910), *slabunov@krc.karelia.ru*

В полосчатых железистых кварцитах (BIF) неоархейской (2,76–2,74 млрд лет) костомукшской свиты Костомукшского зеленокаменного пояса Карельского кратона установлены следующие акцессорные минералы: циркон, апатит, монацит, барит. Цирконы из BIF содержат магматогенные ядра с возрастными 2,9–2,8 млрд лет, что указывает на наличие в областях сноса мезоархейских пород. Метаморфогенные цирконы имеют возрасты 2,73; 2,64 и 1,86 млрд лет и маркируют полиметаморфическую историю формирования.

Ключевые слова: полосчатые железистые кварциты; циркон; барит; апатит; монацит; Костомукшский зеленокаменный пояс; Карельский кратон

Для цитирования: Слабунов А. И., Кервинен А. В., Нестерова Н. С., Егоров А. В., Максимов О. А., Медведев П. В. Полихронная история формирования неоархейских полосчатых железистых кварцитов главной рудной толщи Костомукшского зеленокаменного пояса: возраст цирконов и акцессорные минералы // Труды Карельского научного центра РАН. 2022. № 5. С. 139–143. doi: 10.17076/geo1666

Финансирование. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (грант 22-17-00026).

A. I. Slabunov*, **A. V. Kervinen**, **N. S. Nesterova**, **A. V. Egorov**, **O. A. Maksimov**,
P. V. Medvedev. **POLYCHRONOUS EVOLUTION OF NEOARCHEAN BANDED IRON FORMATION IN THE MAIN ORE SEQUENCE OF THE KOSTOMUKSHA GREENSTONE BELT: THE AGE OF ZIRCONS AND ACCESSORY MINERALS**

*Institute of Geology, Karelian Research Centre RAS (11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia), *slabunov@krc.karelia.ru*

The banded iron formation (BIF) of the Neoarchean (2.76–2.74 Ga) Kostomuksha Formation of the Kostomuksha Greenstone Belt of the Karelian Craton was shown to contain the following accessory minerals: zircon, apatite, monazite and barite.

Zircons from BIF have 2.9–2.8 Ga magmatic cores indicating the presence of Mesoproterozoic rocks in source areas. Metamorphic zircons were dated at 2.73, 2.64 and 1.86 Ga. They mark the polymetamorphic evolution.

Keywords: banded iron formation; zircon; barite; apatite; monazite; Kostomuksha Greenstone Belt; Karelian Craton

For citation: Slabunov A. I., Kervinen A. V., Nesterova N. S., Egorov A. V., Maksimov O. A., Medvedev P. V. Polychronous evolution of Neoproterozoic banded iron formation in the main ore sequence of the Kostomuksha Greenstone Belt: the age of zircons and accessory minerals. *Trudy Kareli'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2022;5:139–143. doi: 10.17076/geo1666

Funding. The study is funded by Russian Science Foundation grant 22-17-00026.

Полосчатые железистые кварциты (banded iron formation, BIF) являются особым типом метаморфизованных осадочных пород, формирование которых происходило только в докембрии [Bekker et al., 2010]. Они часто входят в состав зеленокаменных комплексов и иногда формируют крупные залежи, являющиеся рудой. Так, полосчатые железистые кварциты костомукшской свиты гимольской серии Костомукшского зеленокаменного пояса, расположенного в центральной части Карельского кратона, формируют крупнейшее на северо-западе России месторождение железных руд. Данная статья посвящена рассмотрению первых результатов изучения акцессорных минералов, в том числе цирконов, выделенных из BIF главной железорудной толщи Костомукшского зеленокаменного пояса, что позволяет более корректно восстановить историю становления рудной толщи.

Карельский кратон относится к числу классических структур этого типа и сложен преимущественно архейскими гранитоидами и зеленокаменными (в меньшей степени парагенетическими) комплексами [Slabunov et al., 2006; Куликов и др., 2017]. Последние формируют зеленокаменные пояса и представляют собой относительно узкие линейные структуры, окруженные гранитоидами. Зеленокаменные комплексы – это совокупность, как правило, относительно слабо или умеренно метаморфизованных вулканогенных и осадочных (в том числе BIF) пород.

Костомукшский зеленокаменный пояс входит в состав террейна Кианта Западно-Карельской субпровинции Карельского кратона [Slabunov et al., 2006]. Он представляет собой относительно небольшую субмеридиональную удлиненную структуру (по простиранию прослеживается на 25 км при ширине 4,5–7 км), погружающуюся в целом на восток, и прослеживается на глубину до 6,5 км [Самсонов и др.,

2001; Кожевников и др., 2006; Горьковец, Шаров, 2015].

Гимольская серия слагает восточный борт зеленокаменного пояса и представлена метаморфизованными песчано-глинистыми осадками флишевого типа. В основании толщи выделяются конгломераты (суккозерская свита), в нижней части толщи велика доля BIF (костомукшская свита), а в верхней резко преобладают безрудные граувакки (сурлампинская свита). Формирование железорудной осадочной толщи (гимольской серии) в Костомукшском зеленокаменном поясе происходило синхронно с кислым вулканизмом, возраст которого оценивается в 2,76–2,74 млрд лет [Слабунов и др., 2021], в субдукционной геодинамической обстановке [Slabunov et al., 2020 и ссылки в ней].

Железорудная толща (костомукшская свита гимольской серии), изученная авторами в Центральном и Корпангском карьерах Костомукшского месторождения, сечется неархейскими (2707 ± 31 и 2675 ± 9 млн лет соответственно) гранит-порфирами и гранитами (шурловарский массив).

Гранитоиды тоналит-трондьемит-гранодиоритовой (ТТГ) ассоциации из обрамления пояса не являются фундаментом для зеленокаменного комплекса, так как их возраст оценивается в 2779 ± 11 млн лет [Бибикова и др., 2005], т. е. они моложе вулканитов контоксской серии. Вместе с тем эти ТТГ древнее осадков железорудной толщи (гимольской серии). Кроме того, в районе установлены гранитоиды, которые секут зеленокаменный комплекс. Это граниты Ниемиярвинского массива (2720 ± 20 млн лет) и санукитоиды массивов Таловейс (2718 ± 6 – 2707 ± 9 млн лет) [Бибикова и др., 2005].

Гранит-зеленокаменный комплекс рассматриваемого района сечется палеопротерозойскими (с возрастом около 2,4 млрд лет) дайка-

ми долеритов. Наиболее позднее проявление эндогенной активности здесь – неопротерозойский (около 1,2 млрд лет) щелочно-ультраосновной магматизм (лампроиты, кимберлиты) [Горьковец, Шаров, 2015].

Акцессорные минералы

Среди акцессорных минералов в BIF костомукшской свиты установлены монацит, барит, апатит (рис. 1) и цирконы (рис. 2).

Монацит образует мелкие (15–20 мкм) хорошо ограненные зерна (рис. 1, а, б), не имеет признаков окатанности и является метаморфогенным. Его химический состав отвечает фтор-apatиту.

Барит встречается как в виде небольших призматических зерен (рис. 1, а), концентрирующихся в прослоях кварца, так и в виде аме-

бовидных агрегатов среди зерен магнетита (рис. 1, в). Он, по-видимому, также образуется в ходе метаморфических преобразований под влиянием, например, неоархейских гранитоидов.

Апатит образует как относительно крупные (до 300 мкм) зерна в породе, так и минеральные включения в цирконах. Формирование апатита может быть связано с влиянием на BIF кислого магматизма, несколько генераций которого, как было показано выше, проявлено в Костомукшской структуре.

Среди акцессорных минералов в рассматриваемых BIF установлен и циркон. Его призматические слабоудлиненные зерна размером 50–150 мкм нередко имеют ядра, отличающиеся от каем внутренним строением (рис. 2). В цирконах отмечены минеральные включения апатита, монацита, торита, калиевого полевого шпата.

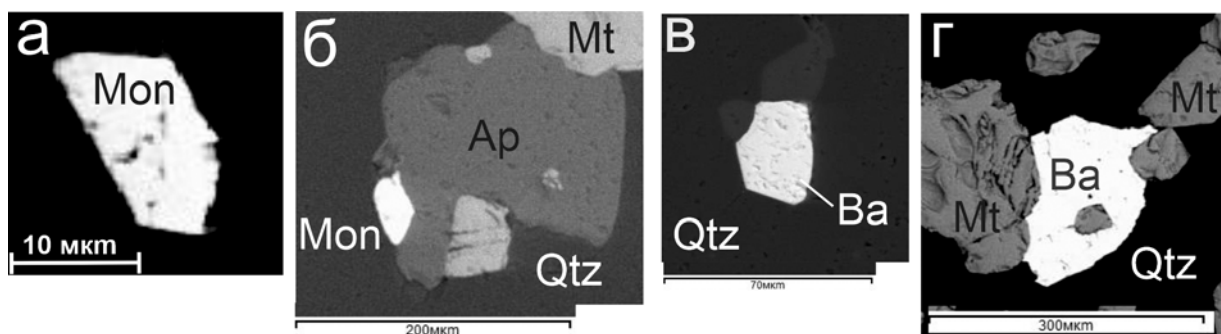


Рис. 1. Изображения в отраженных электронах минеральных ассоциаций BIF с монацитом (а, б), апатитом (б) и баритом (в, г):

Ap – апатит, Ba – барит, Qtz – кварц, Mon – монацит, Mt – магнетит

Fig. 1. Back-scatter electron images of mineral BIF associations with monazite (a, б), apatite (б) and barite (в, г): Ap – apatite, Ba – barite, Qtz – quartz, Mon – monazite, Mt – magnetite

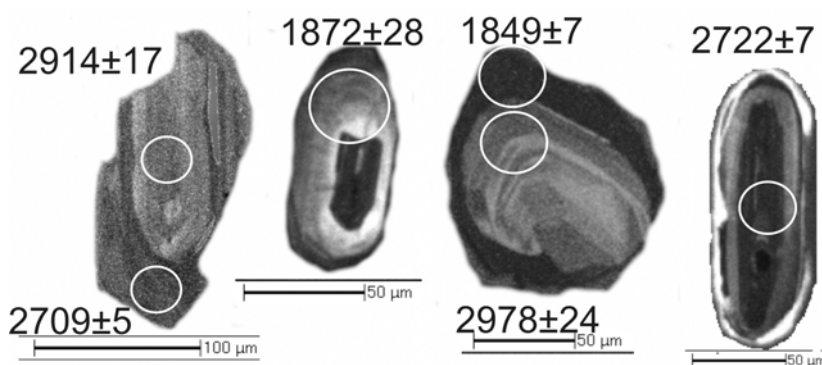


Рис. 2. Катодолюминесцентные изображения цирконов из BIF Костомукшской свиты. Белые окружности – аналитические точки, цифры – значения ^{207}Pb - ^{206}Pb возраста в них (в млн лет)

Fig. 2. Cathodoluminescence images of zircon from the Kostomuksha Formation BIF. White circle – analytical points, numbers – ^{207}Pb - ^{206}Pb ages (in Ma) in them are shown

Изученные цирконы часто содержат ядра (рис. 2), среди которых выделяется два типа: с тонкой осцилляторной зональностью, характерной для магматогенных цирконов и ^{207}Pb - ^{206}Pb возрастaми 3,0 и 2,8 млрд лет (рис. 2), а также однородные черные на CL-изображениях с возрастом около 2,7 млрд лет (рис. 2). По предварительным данным, возраст большей части зерен цирконов и ранней генерации каем оценивается в 2730 млн лет. Кроме того, в цирконах из BIF Корпангского карьера выделяется генерация с возрастом 2640 млн лет, а Центрального – 2100 и 1860 млн лет.

С учетом того, что возраст толщи граувакк, с которыми чередуются BIF, оценивается в 2,76–2,74 млрд лет [Слабунов и др., 2021], мезоархейские цирконы из BIF – это фрагменты пород из области сноса, а цирконы с возрастaми 2,73; 2,64 и 1,86 млрд лет имеют метаморфогенную природу и маркируют главные стадии преобразования BIF.

Главные выводы

1. В составе неархейской (2,76–2,74 млрд лет) костомукшской свиты гимольской серии в чередовании с граувакками и в ассоциации с кислыми вулканитами находятся BIF, содержащие акцессорные минералы: циркон, апатит, монацит, барит.

2. Цирконы из BIF содержат магматогенные ядра с возрастaми 2,9–2,8 млрд лет, что указывает на наличие в областях сноса мезоархейских пород. Метаморфогенные цирконы имеют возрастa 2,73; 2,64 и 1,86 млрд лет и маркируют полиметаморфическую историю формирования BIF.

Литература

Бибикова Е. В., Самсонов А. В., Петрова А. Ю., Кирнозова Т. И. Геохронология архея Западной Карелии // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2005. Т. 13(5). С. 3–20.

Горьковец В. Я., Шаров Н. В. (ред.) Костомукшский рудный район (геология, глубинное строение и минерогения). Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2015. 322 с.

Кожевников В. Н., Бережная Н. Г., Пресняков С. Л., Лепехина Е. Н., Антонов А. В., Сергеев С. А. Геохронология циркона (SHRIMP-II) из архейских стратотектонических ассоциаций в зеленокаменных поясах Карельского кратона: роль в стратиграфических и геодинамических реконструкциях // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2006. Т. 14(3). С. 19–41.

Самсонов А. В., Берзин Р. Г., Заможная Н. Г., Щипанский А. А., Бибикова Е. В., Кирнозова Т. И., Конилов А. Н. Процессы формирования раннедо-

кембрийской коры Северо-Западной Карелии, Балтийский щит: результаты геологических, петрологических и глубинных сейсмических (профиль 4В) исследований // Глубинное строение и эволюция земной коры восточной части Фенноскандинавского щита: профиль Кемь – Калевала. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2001. С. 109–143.

Куликов В. С., Светов С. А., Слабунов А. И., Куликова В. В., Полин А. К., Голубев А. И., Горьковец В. Я., Иващенко В. И., Гоголев М. А. Геологическая карта Юго-Восточной Фенноскандии масштаба 1:750 000: новые подходы к составлению // Труды Карельского научного центра РАН. 2017. № 2. С. 3–41. doi: 10.17076/geo444

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

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 processes // *Economic Geology*. 2010. Vol. 105. P. 467–508.

Slabunov A. I., Lobach-Zhuchenko S. B., Bibikova E. V., Sorjonen-Ward P., Balagansky 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*. London, 2006. P. 627–644. doi: 10.1144/GSL.MEM.2006.035.01.37

Slabunov A. I., Egorov A. V., Nesterova N. S. Geochemical types of Archean banded iron formations and the geodynamic settings of the basins, Kostomuksha Greenstone Belt, Karelian Craton, Russia // *Proceedings 4th Kazan Golovkinsky Stratigraphic Meeting 2020. Sedimentary Earth Systems: Stratigraphy, Geochronology, Petroleum Resources*. Kazan, 2020. P. 256–261. doi: 10.26352/E922_KAZAN2020

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 processes. *Economic Geology*. 2010;105:467–508.

Bibikova E. V., Samsonov A. V., Petrova A. Yu., Kirnozova T. I. The Archean geochronology of western Karelia. *Stratigraphy and Geological Correlation*. 2005;13(5):459–475.

Gorkovets V. Ya., Sharov N. V. (Eds.) Kostomuksha ore district: Geology, deep structure, and metallogeny. Petrozavodsk: KarRC RAS; 2015. 322 p. (In Russ.)

Kozhevnikov V. N., Berezhnaya N. G., Presnyakov S. L., Lepekhina E. N., Antonov A. V., Sergeev S. A. Geochronology (SHRIMP II) of zircons from Archean stratotectonic associations of Karelian Greenstone Belts: Significance for stratigraphic and geodynamic reconstructions. *Stratigraphy and geological correlation*. 2006;14(3):240–259.

Kulikov V. S., Svetov S. A., Slabunov A. I., Kulikova V. V., Polin A. K., Golubev A. I., Gorkovets V. Ya., Ivashchenko V. I., Gogolev M. A. Geological map of South-eastern Fennoscandia (scale 1:750 000): A new approach to map compilation. *Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2017;2:3–41. doi: 10.17076/geo444 (In Russ.)

Samsonov A. V., Berzin R. G., Zamozhnyaya N. G., Shchipansky A. A., Bibikova E. V., Kirnozova T. I., Konilov A. N. Processes of formation of the Early Precambrian Crust of Northwestern Karelia, Baltic Shield: results of geological, petrological, and deep seismic (profile 4B) studies. *Deep structure and crustal evolution of the Eastern Fennoscandian Shield: Kem–Kalevala Profile*. Petrozavodsk: KarRC RAS; 2001. P. 109–143. (In Russ.)

Slabunov A. I., Egorov A. V., Nesterova N. S. Geochemical types of Archean banded iron formations and the geodynamic settings of the basins, Kostomuksha Greenstone Belt, Karelian Craton, Russia. *Proceedings 4th Kazan Golovkinsky Stratigraphic Meeting 2020. Sedimentary Earth Systems: Stratigraphy, Geochronology, Petroleum Resources*. Kazan; 2020. P. 256–261. doi: 10.26352/E922_KAZAN2020

Slabunov A. I., Lobach-Zhuchenko S. B., Bibikova E. V., Sorjonen-Ward P., Balagansky 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*. London; 2006. P. 627–644. doi: 10.1144/GSL.MEM.2006.035.01.37

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

Поступила в редакцию / received: 21.08.2022; принята к публикации / accepted: 29.08.2022.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interest.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Слабунов Александр Иванович

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

e-mail: slabunov@krc.karelia.ru

Кервинен Анна Валерьевна

младший научный сотрудник лаборатории геологии и геодинамики докембрия

e-mail: kervinen@mail.ru

Нестерова Наталья Сергеевна

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

e-mail: nesterovan@krc.karelia.ru

Егоров Александр Викторович

младший научный сотрудник лаб. геологии и геодинамики докембрия

e-mail: av.egorov1@kostomuksha.ru

Максимов Олег Александрович

научный сотрудник лаборатории геологии и геодинамики докембрия

e-mail: olemaximov@mail.ru

Медведев Павел Владимирович

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

e-mail: pmedved@krc.karelia.ru

CONTRIBUTORS:

Slabunov, Alexander

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

Kervinen, Anna

Junior Researcher

Nesterova, Natalia

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

Egorov, Alexander

Junior Researcher

Maksimov, Oleg

Researcher

Medvedev, Pavel

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