

УДК 552.141 : 552.142 : 552.143

ПАЛЕОПРОТЕРОЗОЙСКИЕ МОЛАССОИДНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ЦЕНТРАЛЬНОЙ КАРЕЛИИ

А. В. Бакаева*, **С. Ю. Чаженина**, **С. А. Светов**, **А. В. Кервинен**

*Институт геологии КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН» (ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185910), *sashe-ku@yandex.ru*

Изучен вещественный состав палеопротерозойских полимиктовых конгломератов, расположенных в пределах Койкарской и Эльмусской структур Ведлозерско-Сегозерского зеленокаменного пояса (ВСЗП), Карельский кратон. Проведено разделение обломочного материала по петрографическим и петрохимическим признакам на доминирующие группы с последующей корреляцией обломков с породными комплексами, слагающими данную территорию. Установлено, что на состав обломочного материала и цемента полимиктовых конгломератов существенное влияние оказали породы, представленные в основании осадочных разрезов: породные ассоциации мезоархейского вулканогенно-осадочного комплекса ВСЗП, палеопротерозойские (сумийские) андезибазальтовые ассоциации и гранитоиды Эльмусской структуры. Выполнены геохронологические исследования детритовых цирконов из цемента конгломератов, согласно которым время формирования конгломератов Койкарской структуры – не позднее 2408 ± 9 млн лет, Эльмусской структуры – 2428 ± 19 млн лет, при этом в Койкарской структуре преобладает обломочный циркон с возрастом около 2810 ± 12 и 2880 ± 12 млн лет, а в конгломератах Эльмусской структуры доминируют цирконы с возрастом 2620 ± 24 – 2650 ± 27 и 2580 ± 27 млн лет. Нижним ограничением времени формирования осадочных разрезов служит возраст нижележащих вулканитов сумия (~2450 млн лет). На основании морфологической характеристики грубообломочных отложений и сравнительного анализа обломков с породными комплексами Койкарской и Эльмусской структур осадочные бассейны рассматриваются как палеопротерозойские молассоидные комплексы, сформировавшиеся в бассейнах пулл-апарт типа на протоплатформенной стадии развития Карельского кратона.

Ключевые слова: полимиктовые конгломераты; палеопротерозой; Ведлозерско-Сегозерский зеленокаменный пояс; Карельский кратон

Для цитирования: Бакаева А. В., Чаженина С. Ю., Светов С. А., Кервинен А. В. Палеопротерозойские молассоидные комплексы Центральной Карелии // Труды Карельского научного центра РАН. 2025. № 5. С. 49–53. doi: 10.17076/geo2183

Финансирование. Работа выполнена при финансовой поддержке темы НИР ИГ КарНЦ РАН (FMEN-2023-0009).

**A. V. Bakaeva*, S. Yu. Chazhengina, S. A. Svetov, A. V. Kervinen.
PALEOPROTEROZOIC MOLASSOID COMPLEXES OF CENTRAL KARELIA**

*Institute of Geology, Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences
(11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia), *sashe-ku@yandex.ru*

This study focuses on Paleoproterozoic polymictic conglomerates recognized within the Koikary and Elmus domains of the Vedlozero-Segozero greenstone belt (VSGB), Karelian Craton. The detrital material was differentiated into dominant groups according to petrographic and petrochemical characteristics, and then the clasts were matched with the rock complexes composing this territory. It was found that the composition of the clastic material and cement of the polymictic conglomerates was significantly influenced by the underlying rocks: rock associations of the Mesoarchean volcanogenic-sedimentary complex of the VSGB, Paleoproterozoic (Sumian) andesibasalt associations and granitoids of the Elmus domain. Geochronological studies of detrital zircons from conglomerate cement were carried out. New records date the formation of polymictic conglomerates of the Koikary domain to 2408 ± 9 Ma and of the Elmus domain to 2428 ± 19 Ma, while the Koikary domain is dominated by clastic zircon aged ca. 2810 ± 12 and 2880 ± 12 Ma, and conglomerates of the Elmus domain are dominated by zircons aged 2620 ± 24 – 2650 ± 27 and 2580 ± 27 Ma. The lower time limit for the formation of sedimentary sections is the age of the underlying Sumian volcanics (~ 2450 Ma). Based on the morphological characteristics of coarse-grained sediments and the comparative analysis of clasts against rock complexes of the Koikary and Elmus domains, the sedimentary basins are recognized as Paleoproterozoic molassoid complexes formed in pull-apart basins during the proto-platform stage in the evolution of the Karelian craton.

Keywords: polymictic conglomerates; Paleoproterozoic; Vedlozero-Segozero greenstone belt; Karelian Craton

For citation: Bakaeva A. V., Chazhengina S. Yu., Svetov S. A., Kervinen A. V. Paleoproterozoic molassoid complexes of Central Karelia. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2025. No. 5. P. 49–53. doi: 10.17076/geo2183

Funding. The work was funded within state-ordered research theme of the IG KarRC RAS (FMEN-2023-0009).

Молассоидные комплексы Койкарской и Эльмусской структур расположены в районе озер Пальеозеро (п. Эльмус) и Яниш (д. Койкары) (Центральная Карелия) и представлены полимиктовыми конгломератами сариолийского возраста (2400–2300 млн лет). Формирование конгломератов происходило на протоплатформенной стадии развития Карельского кратона в рифтогенных впадинах пулл-апарт типа [Melezhik et al., 2013]. В основании осадочных разрезов представлены магматические и хемогенно-терригенные отложения мезоархейского комплекса ВСЗП, а также палеопротерозойские вулканиты сумийского возраста [Kolodyazhny et al., 2023].

По размеру обломков конгломераты относятся к валунно-галечным с размером валунов до 1 м. Степень окатанности обломочного материала варьирует от угловатых до слабоокатанных форм, что указывает на локальные источники и близкую транспортировку обломков [Кузнецов, 2007]. Состав обломочного материала в осадочных бассейнах зависит от типа пород, представленных в области сноса [Dickinson et al., 1983].

На основании проведенных петрографических и петрохимических исследований выполнено разделение обломочного материала по кремнекислотности на стандартные группы: основные, средние, кислые (табл.), включая метаморфические и осадочные типы обломков. Установлено, что в конгломератах Койкарской структуры среди обломков преобладают фрагменты кислых (дациты, плагиограниты, гранодиориты, плагио-микроклиновые граниты), метаморфических (амфиболитовые сланцы, кварциты) и в меньшей степени – основных (габброиды, базальты, миндалекаменные базальты, вариолиты) и средних (дациты, диориты) пород, а в конгломератах Эльмусской структуры существенно доминируют фрагменты средних пород (андезиобазальты, андезиты, диориты), осадочных (силициты), основных, метаморфических и в меньшем количестве представлены обломки кислых пород. Разное соотношение обломочного материала в двух бассейнах является отражением контрастности составов подстилающих породных комплексов, находящихся в области эрозии.

Средние концентрации петрогенных элементов (мас. %) в обломках и цементе конгломератов Койкарской и Эльмусской структур

Average concentrations of petrogenic elements (wt. %) in clasts and cement of conglomerates of the Koikary and Elmus domains

	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O _{3tot}	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Сумма Sum
1	52,05	1,02	14,50	12,24	0,25	8,57	7,82	2,58	0,84	0,12	100
2	57,18	1,23	14,05	11,99	0,21	4,47	5,83	3,99	0,88	0,16	100
3	72,52	0,50	14,12	3,98	0,07	0,87	1,53	6,14	0,21	0,04	100
4	49,50	0,88	15,67	13,28	0,26	8,25	9,48	1,97	0,62	0,10	100
5	75,10	0,25	13,74	2,67	0,06	0,49	1,84	5,67	0,16	0,02	100
6	61,25	0,81	14,41	8,62	0,16	3,67	7,28	3,16	0,55	0,09	100

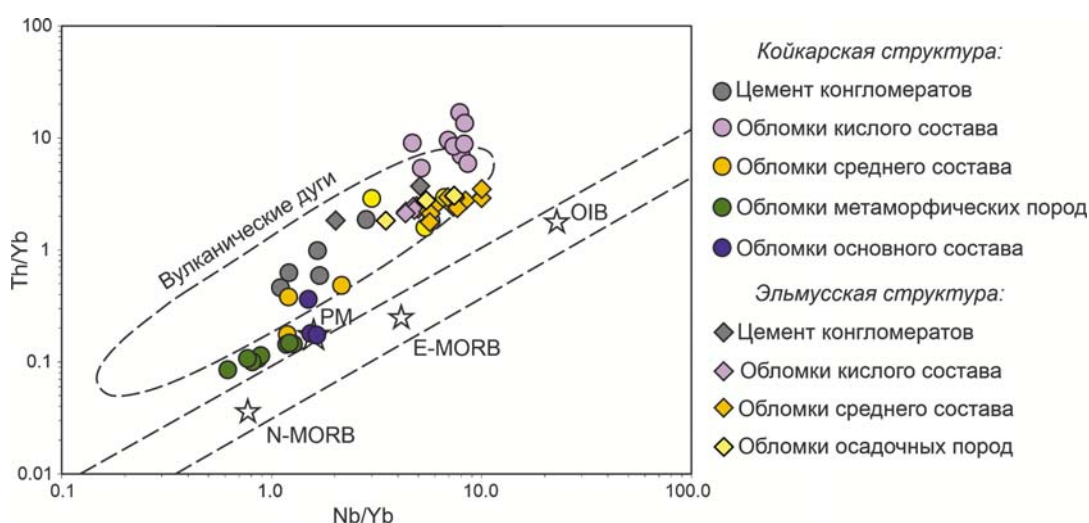
Примечание. 1 – обломки основного состава, 2 – обломки среднего состава, 3 – обломки кислого состава, 4 – обломки метаморфических пород, 5 – обломки осадочных пород, 6 – цемент.

Note. 1 – mafic clasts, 2 – intermediate clasts, 3 – felsic clasts, 4 – metamorphic clasts, 5 – sedimentary clasts, 6 – cement.

В Койкарской структуре в основании осадочного бассейна представлены вулканогенные и осадочные комплексы мезоархейской андезит-дацит-риолитовой (АДР) ассоциации и палеопротерозойские вулканы андезибазальтовой ассоциации (сумий), в Эльмусской структуре конгломераты залегают на вулканитах андезибазальтовой ассоциации (сумий). Среди обломочного материала конгломератов Койкарской структуры также установлены фрагменты средних пород субщелочной серии ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} = 6,5\text{--}7,3$ вес. %), источники которых не установлены в пределах ВСЗП. Цемент полимиктовых конгломератов представлен лититовой и кварц-полевошпатовой грауваккой, тип цементации

варьирует от контактового до базального, что свидетельствует о принадлежности конгломератов к проксимальным фациям: плотно упакованные с контактовым цементом относятся к коллювиальным и аллювиально-флювиальным склоновым фациям, а с базальным цементом – к образованиям временных потоков, возникновение которых связывается с тектоническим режимом в области бассейна седиментации.

Для определения потенциальных геодинамических обстановок формирования источников обломочного материала рассмотрены концентрации Nb, Th, Yb в обломках и представлены на дискриминационной диаграмме Дж. Пирса [Pearce, 2008] (рис.).



Вариационная диаграмма Th/Yb – Nb/Yb [Pearce, 2008] для обломков палеопротерозойских молассоидных комплексов Койкарской и Эльмусской структур

The Th/Yb – Nb/Yb variation diagram [Pearce, 2008] for clasts of the Paleoproterozoic molassoid complexes of the Koikary and Elmus domains

На диаграмме Th/Yb – Nb/Yb (рис.) положение фигуративных точек обломков среднего и кислого состава соответствует области обогащения Th относительно Nb, что может происходить в случае формирования исходных магматических пород в результате субдукционных процессов, контаминации первичными выплавками корового материала или определяться влиянием состава мантийного источника. Можно предположить, что наиболее вероятными обстановками формирования источников среднего и кислого материала являлись вулканические дуги. Положение точек обломочного материала основного состава и фрагментов метаморфических пород соответствует области обогащения Nb относительно Th и приурочено к полю мантийного расплава в промежутке между составами N-MORB и примитивной мантии (PM), что существенно отличается от островодужных образований и свидетельствует о формировании источников обломочного материала из магматических расплавов в зоне субдукции.

Результаты геохронологических исследований методом лазерной абляции (LA-ICP-MS) детритовых зерен цирконов, выделенных из цемента конгломератов, показывают, что в породах Койкарской структуры представлены зерна цирконов с возрастом от 2408 ± 9 до 2915 ± 9 млн лет, с преобладанием цирконов с возрастом 2810 ± 12 и 2880 ± 12 млн лет. В конгломератах Эльмусской структуры большая часть зерен имеет сходный возраст от 2428 ± 19 до 2913 ± 20 млн лет, но доминируют цирконы с возрастом от 2620 ± 24 до 2650 ± 27 и 2580 ± 27 млн лет. Таким образом, на основании полученных данных можно оценить время заложения осадочных комплексов, интервал формирования которых определяется самым молодым возрастом детритовых цирконов: 2408 ± 9 млн лет для Койкарской структуры и 2428 ± 19 млн лет для Эльмусской структуры и возрастом подстилающих комплексов – вулканических сумий ~ 2450 млн лет [Светов и др., 2012].

Петрографическая и геохимическая характеристика обломочного материала, а также данные геохронологических исследований свидетельствуют о принадлежности пород к локальным источникам сноса, представленным мезоархейскими и палеопротерозойскими породами ВСЗП: габброидами и дацит-риолитовыми комплексами Койкарской структуры [Гоголев, 2018], гранитоидами Эльмусской площади [Дмитриева, 2016] и андезитовыми ассоциациями сумийского возраста Койкарско-Эльмусской площади [Светов и др., 2012]. На основании морфологической характери-

стики грубообломочных отложений, ранних структурных исследований осадочного бассейна [Kolodyazhny et al., 2023] и сравнительного анализа обломков с близлежащими породными комплексами осадочные бассейны рассматриваются как палеопротерозойские молассоидные комплексы, сформировавшиеся на платформенном этапе развития Карельского кратона в условиях континентального рифтогенеза [Melezhik et al., 2013] в режиме трансенсии-транспрессии в бассейнах пулл-апарт типа [Онежская..., 2011; Melezhik et al., 2013].

Изучение обломочного материала конгломератов в бассейнах пулл-апарт типа, имеющих локальный перенос, позволяет актуализировать существующие геодинамические модели развития континентальной коры Карельского кратона и выявлять эродированные в современном эрозионном срезе магматические системы.

Литература

- Дмитриева А. В. Металлогеническая специализация неархейского умереннощелочного магматизма Центральной Карелии: Автореф. дис. канд. геол.-мин. наук. Петрозаводск, 2016. 160 с.
- Гоголев М. А. Геохимическая типизация дацит-риолитового магматизма центральной части Водлозерско-Сегозерского зеленокаменного пояса (Карельский кратон) // Труды Карельского научного центра РАН. 2018. № 11. С. 82–95. doi: 10.17076/geo757
- Кузнецов В. Г. Литология. Осадочные горные породы и их изучение: Учеб. пособие для вузов. М.: Недра-Бизнесцентр, 2007. 511 с.
- Онежская палеопротерозойская структура (геология, тектоника, глубинное строение и минералогия) / Отв. ред. Л. В. Глушанин, Н. В. Шаров, В. В. Щипцов. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2011. 431 с.
- Светов С. А., Светова А. И., Назарова Т. Н. Сумийские андезибазальты Койкарско-Эльмусской площади: литогеохимическая характеристика и условия формирования // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 15. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2012. С. 5–27.
- Dickinson W. R., Beard L. S., Brakenridge G. R., Erjavec J. L., Ferguson R. C., Inman K. F., Knepp R. A., Lindberg F. A., Ryberg P. T. Provenance of North American Phanerozoic sandstones in relation to tectonic setting // Geological Society of America Bulletin. 1983. Vol. 94. P. 222–235. doi: 10.1130/0016-7606(1983)94<222:PO NAPS>2.0.CO;2
- Kolodyazhny S. Yu., Kuznetsov N. B., Poleshchuk A. V., Zykov D. S., Shalaeva E. A. Paleoproterozoic tectonics and evolutionary model of the Onega synclinorium // Geodynamics & Tectonophysics. 2023. Vol. 14, no. 4. Art. 0709. doi: 10.5800/GT-2023-14-4-0709
- Melezhik V. A., Medvedev P. V., Svetov S. A. The Onega basin // Reading the Archive of Earth's Oxygenation. Vol. 1. The Palaeoproterozoic of Fennoscandia

as Context for the Fennoscandian Arctic Russia - Drilling Early Earth Project / Eds. V. A. Melezhik, A. R. Prave, E. J. Hanski, A. E. Fallick, A. Lepland, L. R. Kump, H. Strauss. Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag, 2013. P. 387–490. doi: 10.1007/978-3-642-29682-6_9

Pearce J. A. Geochemical fingerprinting of oceanic basalts with applications to ophiolite classification and the search for Archean oceanic crust // *Lithos*. 2008. Vol. 100(1-4). P. 14–48. doi: 10.1016/j.lithos.2007.06.016

References

Dickinson W. R., Beard L. S., Brakenridge G. R., Erjavec J. L., Ferguson R. C., Inman K. F., Knepp R. A., Lindberg F. A., Ryberg P. T. Provenance of North American Phanerozoic sandstones in relation to tectonic setting. *Geological Society of America Bulletin*. 1983;94:222–235. doi: 10.1130/0016-7606(1983)222:PONAPS>2.0.CO;2

Dmitrieva A. V. Metallogenic specialization of Neoproterozoic alkaline magmatism in Central Karelia: PhD (Cand. of Geol.-Miner.) thesis. Petrozavodsk; 2016. 160 p. (In Russ.)

Glushanin L. V., Sharov N. V., Shchiptsov V. V. (eds.). Palaeoproterozoic Onega Structure (geology, tectonics, deep structure and mineralogy). Petrozavodsk: KarRC RAS; 2011. 431 p.

Gogolev M. A. Geochemical types of subvolcanic dacite – rhyolite complexes from the central part of the

Vedlozero-Segozero greenstone belt (Karelian Craton). *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2018;11: 82–95. (In Russ.). doi: 10.17076/geo757

Kolodyazhny S. Yu., Kuznetsov N. B., Poleshchuk A. V., Zikov D. S., Shalaeva E. A. Paleoproterozoic tectonics and evolutionary model of the Onega synclinorium. *Geodynamics & Tectonophysics*. 2023;14(4):0709. doi: 10.5800/GT-2023-14-4-0709

Kuznetsov V. G. Lithology. Sedimentary rocks and their study: a university textbook. Moscow: Nedra-Biznestsentr; 2007. 511 p. (In Russ.)

Melezhik V. A., Medvedev P. V., Svetov S. A. The Onega basin. *Reading the Archive of Earth's Oxygenation. Vol. 1. The Palaeoproterozoic of Fennoscandia as Context for the Fennoscandian Arctic Russia - Drilling Early Earth Project*. Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag; 2013. P. 387–490. doi: 10.1007/978-3-642-29682-6_9

Pearce J. A. Geochemical fingerprinting of oceanic basalts with applications to ophiolite classification and the search for Archean oceanic crust. *Lithos*. 2008;100 (1-4):14–48. doi: 10.1016/j.lithos.2007.06.016

Svetov S. A., Svetova A. I., Nazarova T. N. Sumian andesibasalts of the Koikary-Elmus locality: lithochemical characteristics and conditions of formation. *Geologiya i poleznye iskopaemye Karelii = Geology and Useful Minerals of Karelia*. Iss. 15. Petrozavodsk: KarRC RAS; 2012. P. 5–27. (In Russ.)

Поступила в редакцию / received: 04.08.2025; принята к публикации / accepted: 08.08.2025.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interest.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Бакаева Александра Владимировна

младший научный сотрудник

e-mail: sashe-ku@yandex.ru

Чаженгина Светлана Юрьевна

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

e-mail: chazhengina@mail.ru

Светов Сергей Анатольевич

д-р геол.-мин. наук, директор

e-mail: ssvetov@krc.karelia.ru

Кервинен Анна Валерьевна

научный сотрудник

e-mail: kervinen@mail.ru

CONTRIBUTORS:

Bakaeva, Alexandra

Junior Researcher

Chazhengina, Svetlana

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

Svetov, Sergei

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

Kervinen, Anna

Researcher