

## Новые подходы к литолого-стратиграфическому изучению и картированию раннедокембрийских комплексов (на примере палеопротерозойских и архейских структур Кейв, Кольский полуостров)

Н. Е. Козлов\*, С. В. Мудрук, Н. О. Сорохтин

\*Геологический институт КНЦ РАН, г. Апатиты, Мурманская обл., Россия;  
e-mail: [n.kozlov@ksc.ru](mailto:n.kozlov@ksc.ru)

### Информация о статье Реферат

Поступила  
в редакцию  
15.01.2026;

получена  
после доработки  
09.02.2026;

принята  
к публикации  
10.02.2026

*Ключевые слова:*  
докембрий,  
Арктическая зона,  
Фенноскандинавский  
щит,  
Кейвский домен,  
геодинамика,  
супракрустальные  
породы

В работе использован метод сравнительного анализа геологических объектов. В его основе лежит оценка близости статистически значимых петрогеохимических характеристик. Ключевое преимущество данного подхода – возможность количественно определять меру сходства для неоднородных выборок, что выгодно отличает его от многих классических геохимических методов. Успешное применение методики для сравнения геологических объектов позволило адаптировать ее для решения литолого-стратиграфических задач в сложно построенных раннедокембрийских комплексах, где традиционные методы часто оказываются недостаточно эффективными. В настоящей работе апробация метода проведена на супракрустальных образованиях Кейвского домена. На первом этапе он был использован для корреляции палеопротерозойских толщ. Результаты подтвердили существующие стратиграфические схемы: породы серповидного комплекса (песцовокейвская свита, район хр. Серповидного) продемонстрировали наибольшее сходство с образованиями умбинской (пояс Имандра-Варзуга) и куэцярвинской (Печенгская структура) свит. На следующем этапе метод был применен к более древним комплексам, корреляция которых ранее вызывала затруднения. Исследования позволили установить, что отложения верхов лебяжинской свиты и червуртских подсвит формировались на всей территории Кейвской структуры преимущественно за счет перемыва и переотложения подстилающих пород. Анализ также выявил различия в геологической истории двух основных структур региона – Больших и Малых Кейв. Формирование толщ в них происходило в разных обстановках. В Больших Кейвах стабильные условия седиментации сохранялись вплоть до накопления выхчуртской свиты. Активная тектоническая перестройка началась позже – в период формирования песчовотундровских комплексов, когда в осадочный бассейн начал поступать обломочный материал с обрамления, в первую очередь с Мурманского домена. В Малых Кейвах эта активизация произошла раньше, что зафиксировано в составе пород снежноборской свиты. Предложенная на основе петрогеохимического сопоставления реконструкция геологической истории Кейвского домена предлагает разрешение ранее существовавших противоречий при корреляции супракрустальных комплексов Больших и Малых Кейв.

### Для цитирования

Козлов Н. Е. и др. Новые подходы к литолого-стратиграфическому изучению и картированию раннедокембрийских комплексов (на примере палеопротерозойских и архейских структур Кейв, Кольский полуостров). Вестник МГТУ. 2026. Т. 29, № 1. С. 29–40. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2026-29-1-29-40>.

## New approaches to lithological and stratigraphic research and mapping of the early Precambrian complexes (using an example of the Paleoproterozoic and Archean structures of Keivy, Kola Peninsula)

Nikolay E. Kozlov\*, Sergey V. Mudruk, Nikolay O. Sorokhtin

\*Geological Institute KSC RAS, Apatity, Murmansk region, Russia;  
e-mail: n.kozlov@ksc.ru

### Article info

Received  
15.01.2026;

received  
in revised form  
09.02.2026;

accepted  
10.02.2026

### Key words:

Precambrian,  
Arctic zone,  
Fennoscandian Shield,  
Keivy domain,  
geodynamics,  
supracrustal rocks

### Abstract

Previously, the team of authors proposed a new method for the comparative analysis of geological objects. Its foundation is an assessment of the proximity of statistically significant petrogeochemical characteristics. The key advantage of this approach is the ability to quantitatively determine the degree of similarity for heterogeneous samples, which favorably distinguishes it from many classical geochemical methods. The successful application of the technique for comparing geological objects has allowed its adaptation for solving lithological-stratigraphic tasks in complexly structured Early Precambrian complexes, where traditional methods often prove insufficiently effective. In the present work, the method has been tested on supracrustal formations of the Keivy Domain. At the first stage, it was used for the correlation of Paleoproterozoic strata. The results confirmed existing stratigraphic schemes: Serpovidny complex Formation (Pestsovokeivskaya Formation, Serpovidny Ridge area) demonstrates the greatest similarity with formations of the Umba (Imandra-Varzuga Belt) and Kuetsyarvi Formations (Pechenga Structure). At the next stage, the method was applied to older complexes, the correlation of which had previously been problematic. The research has established that the deposits of the upper part of the Lebyazhinskaya Formation and the Chervurta Subformations were formed throughout the entire Keivy structure primarily due to the reworking and redeposition of underlying rocks. The analysis has also revealed differences in the geological history of the two main regional structures – the Bolshie and Malye Keivy. The formation of strata within them occurred in different settings. In the Bolshie Keivy, stable sedimentation conditions persisted until the accumulation of the Vykhchurta Formation. Active tectonic reorganization began later, during the formation of the Peschtsovotundrovsky complexes, when clastic material from the surrounding areas, primarily from the Murmansk Domain, began to enter the sedimentary basin. In the Malye Keivy, this activation occurred earlier, as recorded in the composition of the rocks of the Snezhnoborskaya Formation. The reconstruction of the geological history of the Keivy Domain, proposed based on petrogeochemical correlation, offers a solution to previously existing contradictions in correlating the supracrustal complexes of the Bolshie and Malye Keivy.

### For citation

Kozlov, N. E. et al. 2026. New approaches to lithological and stratigraphic research and mapping of the early Precambrian complexes (using an example of the Paleoproterozoic and Archean structures of Keivy, Kola Peninsula). *Vestnik of MSTU*, 29(1), pp. 29–40. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2026-29-1-29-40>.

## Введение

При исследовании геологических структур для установления корреляционных связей между различными толщами или определения источников происхождения метасадочных отложений применяется сравнительный анализ породных комплексов изучаемых объектов. Основной метод исследования базируется на изучении петрографических особенностей горных пород и их минерального состава. Подобные методики показали высокую эффективность при работе с неизменными или слабоизменными фанерозойскими комплексами, в которых степень изменения пород не велика. Однако при исследовании глубоко метаморфизованных раннедокембрийских образований возникают существенные сложности в интерпретации полученных данных. Главная проблема заключается в трудностях восстановления изначальных характеристик метаморфических пород, формирование которых происходило в условиях амфиболитовой и гранулитовой фаций метаморфизма. Ключевой фактор сложности состоит в том, что при воздействии высоких температур и давления одни и те же породы могут приобретать различные характеристики, а первичные минералы трансформируются в новые минеральные соединения. Это значительно ограничивает возможности прямого геологического анализа и сравнительного изучения состава породных комплексов. Ситуация дополнительно осложняется недостаточной обнаженностью, часто отсутствием полных стратиграфических разрезов, первичной и вторичной латеральной изменчивостью состава отложений, что приводит к невозможности полного учета всех факторов варибельности и затрудняет проведение достоверных исследований раннедокембрийских геологических объектов.

Цель работы заключается в проверке возможностей метода сравнительного анализа геологических объектов для решения литолого-стратиграфических задач в сложно построенных раннедокембрийских комплексах.

## Материалы и методы

В ходе наших предыдущих исследований была создана система специализированных методов для определения первичной природы пород древнейших комплексов и геодинамических условий их формирования, включая метод определения близости статистически значимых петрогеохимических характеристик, подробное описание которого представлено в монографии (*Сорохтин и др., 2024*) и целой серии более ранних публикаций авторов. Данный метод учитывает то, что химический состав толщ горных пород характеризуется неоднородностью выборок, что проявляется в полимодальном распределении составов пород и наличии их аномальных значений. Эффективность разработанной методики подтвердилась при анализе раннедокембрийских образований и их сопоставлении с фанерозойскими аналогами. Это позволило расширить область применения метода на литолого-стратиграфические исследования раннедокембрийских супракустальных комплексов. Ключевое преимущество методики заключается в способности выявлять наиболее схожие геологические объекты на основе данных о химическом составе всего породного комплекса. При этом используется подход *Э. П. Изоха (1978)*, согласно которому при достаточном объеме представительных выборок расчет среднего состава приближается к реальным соотношениям пород. Такой метод сравнения по сути аналогичен классической корреляции, однако информация о породном составе геологического объекта представляется не через описание первичных пород комплекса, а через данные о химическом составе, отражающем все многообразие пород. Принципиальная схема реализации метода вычисления сходства объекта для целей геологических корреляций показана на рис. 1.

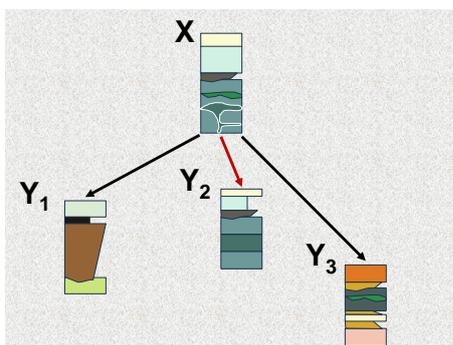


Рис. 1. Визуализация принципа определения стратиграфических аналогов методом сравнения геохимического сходства. На схеме иллюстрируется расчет коэффициентов близости (показаны стрелками) между целевым объектом ( $X$ ) и потенциальными коррелятами ( $Y_1$ ,  $Y_2$ ,  $Y_3$ ). Наибольшая степень сходства (красная стрелка), соответствующая минимальному значению коэффициента, указывает на наиболее вероятную корреляцию объекта  $X$  с объектом  $Y_2$

Fig. 1. Visualization of methodology for correlating stratigraphic units via geochemical similarity analysis. The scheme demonstrates the determination of proximity coefficients (shown by arrows) for a target unit ( $X$ ) against candidate units ( $Y_1$ ,  $Y_2$ ,  $Y_3$ ). The red arrow signifies the smallest coefficient value, indicating the highest degree of similarity and thus the most reliable correlation between  $X$  and  $Y_2$

Предложенный метод также эффективен для определения потенциальных источников поступления вещества, которое участвовало в образовании метаосадочных отложений. Если геологические данные показывают, что формирование исследуемой толщи метаосадочных пород могло происходить за счет обломочного материала, поступающего с прилегающих территорий, то применение разработанного подхода позволяет выявить те участки, чей химический состав наиболее соответствует составу изучаемой толщи. Это дает основание предполагать, что именно эти территории внесли наибольший вклад в формирование рассматриваемых отложений (рис. 2).

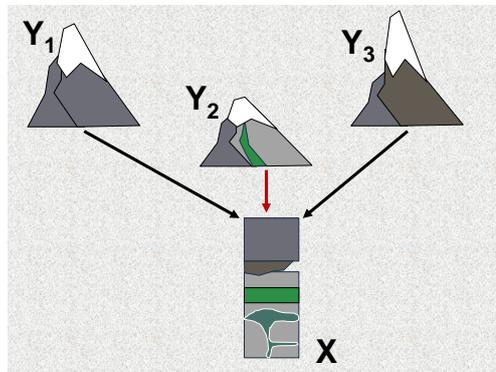


Рис. 2. Схематическая иллюстрация метода идентификации источников сноса. Метод основан на оценке геохимического сходства (коэффициентов близости, показанных стрелками) между исследуемым осадочным объектом ( $X$ ) и потенциальными источниками обломочного материала ( $Y_1$ ,  $Y_2$ ,  $Y_3$ ). Минимальное значение коэффициента (красная стрелка) соответствует максимальному сходству и указывает на то, что породы объекта  $Y_2$  являлись основным источником вещества для формирования объекта  $X$

Fig. 2. Schematic diagram of the provenance determination method. The approach evaluates geochemical affinity represented by proximity coefficients (arrows) between the target sedimentary unit ( $X$ ) and potential source rocks ( $Y_1$ ,  $Y_2$ ,  $Y_3$ ). The smallest coefficient (red arrow) denoting the highest similarity identifies unit  $Y_2$  as the primary source of detritus for unit  $X$

Важно отметить единую методологическую основу обоих применений: в каждом случае степень схожести объектов количественно оценивается с помощью коэффициента близости. Принцип интерпретации этого показателя остается неизменным: меньшие значения коэффициента указывают на более близкое расположение сравниваемых объектов в многомерном пространстве характеристик. Следовательно, минимально возможные значения коэффициента свидетельствуют о наивысшей степени сходства между анализируемыми образцами.

### Результаты и обсуждение

Эффективность предложенного метода определения близости статистически значимых петрогеохимических характеристик подтверждается результатами его апробации на породах Кейвского домена (рис. 3). Выбор Кейвского домена обусловлен наличием нерешенной проблемы корреляции его основных разрезов – Больших и Малых Кейв (Бельков, 1963; Белолитецкий и др., 1980; Предовский и др., 1987; Радченко и др., 1994; Ремизова и др., 2007), а также неоднозначностью стратиграфического положения и корреляции трех верхних палеопротерозойских толщ с разрезами структур Имандра-Варзуга и Печенга. Детальное описание геологии Кейвского домена и обзор его стратиграфических схем приведены в предыдущих работах (Мудрук, 2022; Сорохтин и др., 2024).

Стратиграфический разрез Кейвского домена принят за опорный для Кольского региона. Он фиксирует этапы развития бассейна осадконакопления, разделенные перерывами, соответствующими палеогеографическим и палеотектоническим перестройкам (Мележик и др., 1982). Верхнюю часть разреза составляют три толщи, объединяемые в данной работе в серповидный комплекс (рис. 3, 4). В литературе они описываются как умбинская (Белолитецкий и др., 1980), песчовая (Радченко и др., 1994) или песчовокейвская свита (Ремизова и др., 2007).

Серповидный комплекс состоит из трех толщ: амфиболитово-сланцевой, metabазальтовой и карбонатно-сланцевой. На основании сходства этого вулканогенно-осадочного разреза с умбинской свитой Имандра-Варзугской структуры, а также наличия стратиграфического несогласия в основании, была предложена их корреляция (Белолитецкий и др., 1980). Важным корреляционным критерием является присутствие самородной меди в метавулканитах обоих разрезов – признак, также характерный для куэтсарвинской свиты Печенгской структуры (Загородный и др., 1980; Борисов, 1990; Чернявский и др., 2010; Melezhik et al., 1994; Melezhik et al., 2013). Петрохимически metabазальты комплекса, отличающиеся повышенными содержаниями  $TiO_2$ ,  $Fe_2O_3$  и  $Na_2O$ , попадают в поле составов метавулканитов умбинской свиты (Белолитецкий и др., 1980).

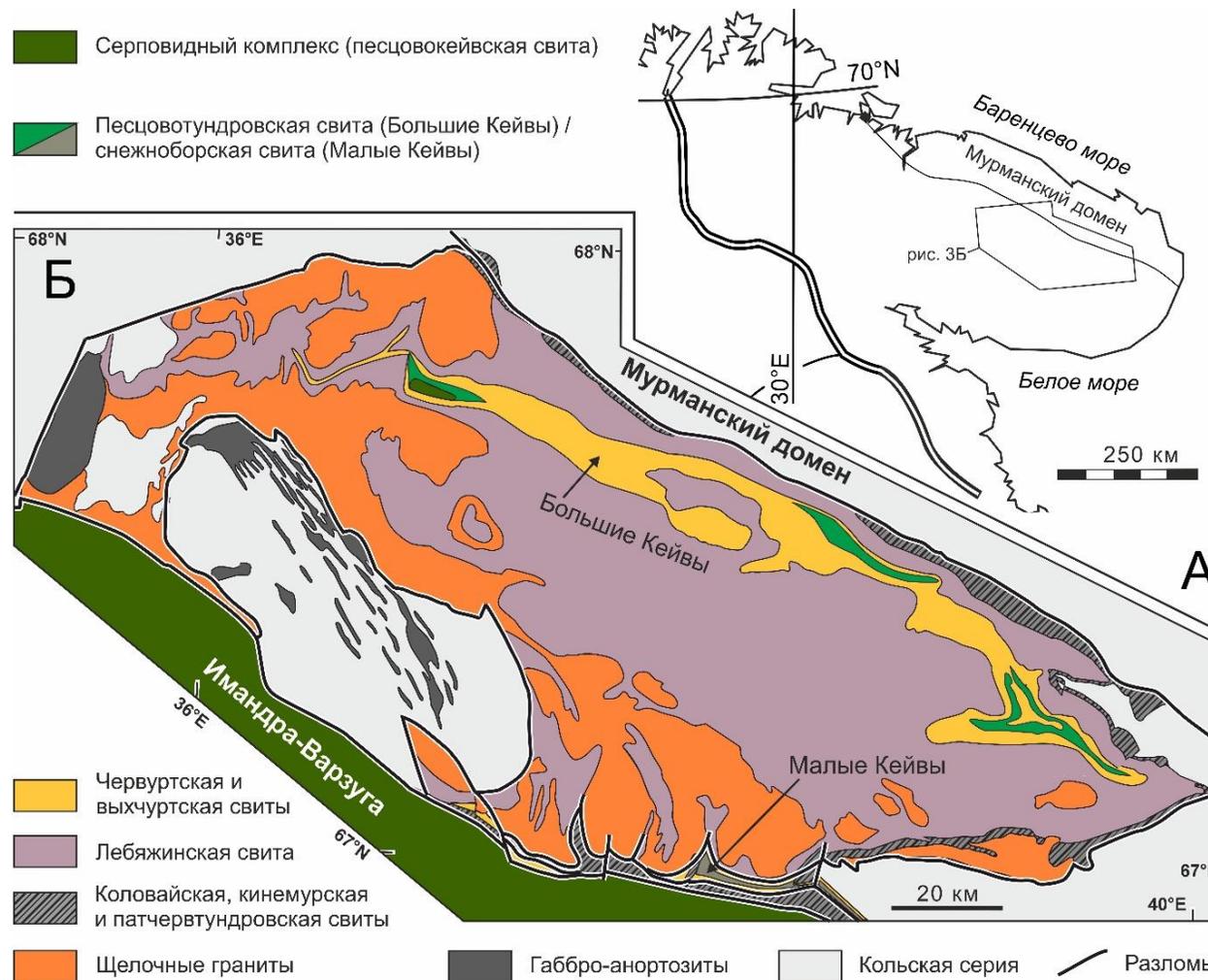


Рис. 3. Геологическая карта Кейвского домена по (Геологическая карта..., 1996) с упрощениями и дополнениями и положением разрезов Больших и Малых Кейв. Основные названия свит даны по (Радченко и др., 1994), в скобках даны альтернативные названия по (Ремизова и др., 2007) и (Белолипецкий и др., 1980)

Fig. 3. Geological map of the Keivy Domain based on (Geological map..., 1996), including the location of the sections of the Bolshie and Malye Keivy. Main names of formations are given after (Radchenko et al., 1994), alternative names are given after (Belolipetsky et al., 1984; Remizova et al., 2007) in brackets.

The Chervurta and Vyhchurta Formations cropping out in the northeastern part of the map correspond to the Bolshie Keivy area; these cropping out in the south-southeastern part correspond to the Malye Keivy area

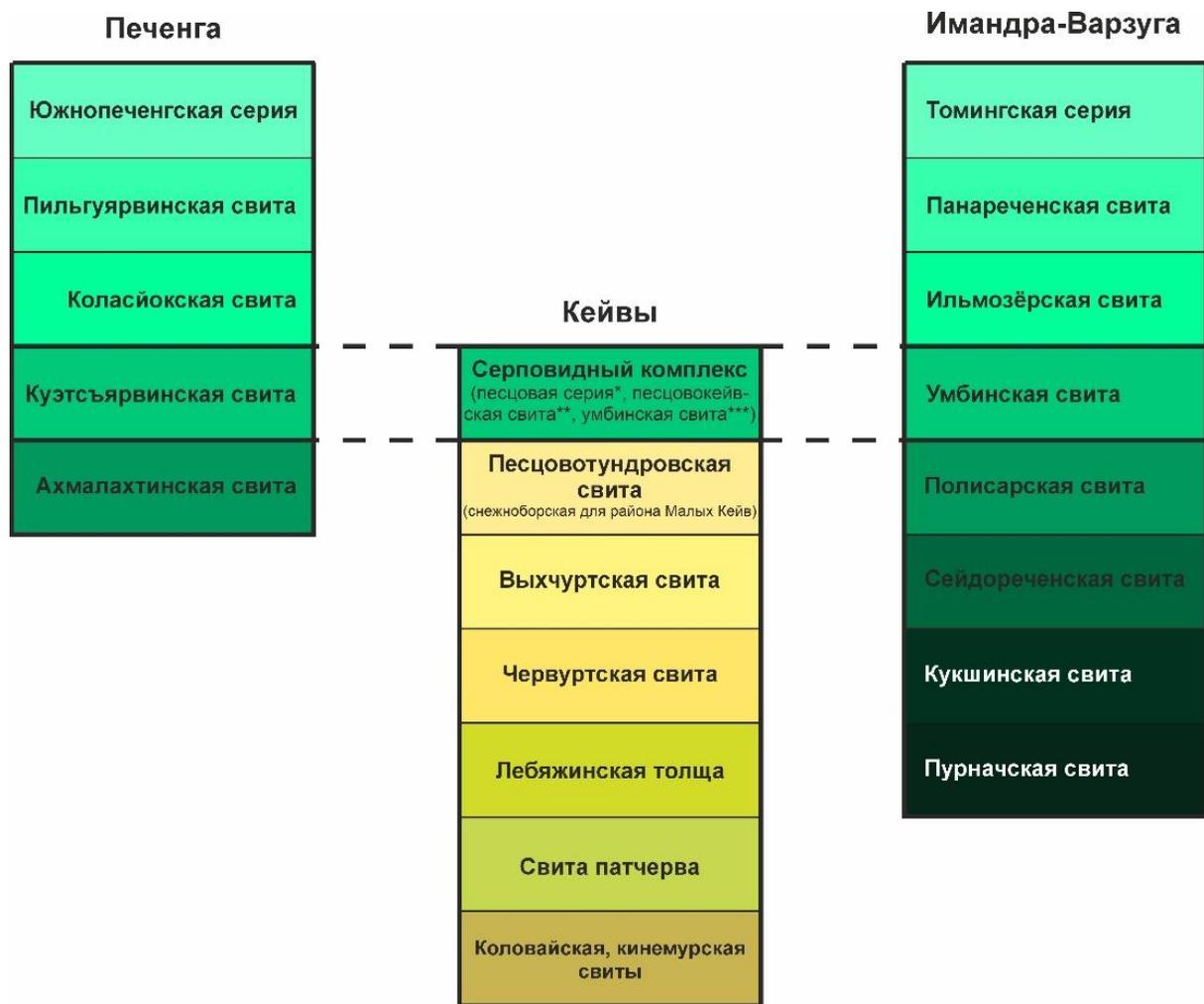


Рис. 4. Обобщенные стратиграфические разрезы стратифицированных комплексов Кейвской, Имандра-Варзугской и Печенгской структур по (Радченко и др., 1994 с изменениями); \* – Радченко и др., 1994, \*\* – Ремизова и др., 2007, \*\*\* – Белолипецкий и др., 1980.

Пунктиром показаны корреляционные границы

Fig. 4. Generalized stratigraphic sections of the stratified complexes of the Keyvy, Imandra-Varzuga, and Pechenga structures (after Radchenko et al., 1994 with modifications); \* – Radchenko et al., 1994; \*\* – Remizova et al., 2007; \*\*\* – Belolipetsky et al., 1980.

Correlation boundaries are shown by dashed lines

Однако несмотря на сходство, возраст умбинской свиты (~2,05 млрд лет; *Martin et al., 2013*) для серповидного комплекса остается предположительным. Ряд исследователей (*Загородный и др., 1983; Радченко и др., 1994*), признавая близкий возраст, подчеркивают стратиграфическую самостоятельность этих образований, выделяя их в песцовую серию. В работе *Ремизовой и др. (2007)* отмечается, что только две толщи комплекса уверенно коррелируются с умбинской свитой, тогда как терригенная толща может соответствовать нижнеильмозерской подсвите варзугской серии.

Для количественной проверки гипотез корреляции серповидного комплекса со структурами Имандра-Варзуга и Печенга был применен метод определения близости статистически значимых петрогеохимических характеристик. Результаты (табл. 1) демонстрируют, что породы серповидного комплекса проявляют наибольшее петрогеохимическое сходство с породами умбинской свиты (Имандра-Варзуга) и куэтсарвинской свиты (Печенга). Этот вывод подтверждает традиционные схемы корреляции и, следовательно, эффективность примененной методики. Таким образом, апробация метода на материале Кейвского домена подтверждает его эффективность для решения задач корреляции супракрустальных комплексов.

Таблица 1. Сравнение петрогеохимических характеристик пород серповидного комплекса (песцовокейвской свиты) с разрезами структур Печенга и Имандра-Варзуга  
Table 1. Comparison of geochemical characteristics of rocks of the Serpovidny complex (*Pestsovaya Keiva Formation*) with sections of the Pechenga and Imandra-Varzuga structures

Имандра-Варзуга*							
Свиты, комплексы*	ИЛМ	УМБ	ПЛС	СДР	ККШ	ТМН	СЛН
ХРБ	9,56	<b>7,23***</b>	11,47	18,24	23,51	14,68	16,90
Печенга**							
	Свиты, комплексы**	ПЛГ	КЛС	КТС			
	ХРБ	15,05	10,63	<b>8,57***</b>			

Примечание. ХРБ – серповидный комплекс (*песцовокейвская свита*); \* – свиты (серии) пояса Имандра-Варзуга; ИЛМ – ильмозерская свита; УМБ – умбинская свита; ПЛС – полисарская свита; СДР – сейдореченская свита; ККШ – кукшинская свита; ТМН – томингская серия; СЛН – солоноозерская свита; \*\* – свиты (серии) Печенгской структуры; ПЛГ – Пильгуярвинская; КЛС – Колосйокская; КТС – Куэтсарвинская; \*\*\* – жирным шрифтом выделены значения коэффициентов близости, характеризующие максимальное сходство сравниваемых объектов при выбранном уровне значимости 0,01.

С учетом этих результатов на следующем этапе исследований с помощью метода определения близости статистически значимых петрогеохимических характеристик были изучены более древние комплексы Кейвской структуры. Здесь наибольшее количество вопросов возникало у ранее изучавших ее исследователей при проведении корреляции толщ в самой верхней части кейвского разреза. Ряд авторов допускает распространение образований песцовотундровской свиты в пределах всей Кейвской структуры, другие же, формально относя эти комплексы к верхней части песцовотундровской свиты, называют ее серией, но выделяют в ее составе в пределах Малых Кейв малокейвские, или снежноборские образования, тем самым подчеркивая своеобразие строения этих комплексов.

Для разрешения спорных вопросов стратиграфической корреляции разрезов Больших и Малых Кейв, не решенных ранее традиционными методами, было предпринято исследование с привлечением расширенного геохимического анализа. Более подробно данные исследования изложены в работе (*Козлов и др., 2025*). Здесь же мы коснемся их лишь тезисно, для иллюстрации возможностей названной выше методики. Работа опиралась на массив из 1 260 силикатных анализов (400 по образцам пород Кейвского домена (включая 300 анализов метаосадочных пород), 860 проб из пород смежных доменов). Ключевым направлением стал поиск аналогов снежноборской свиты в стратотипическом разрезе Больших Кейв. Полученные данные не выявили однозначных коррелятов. Установлено неожиданное геохимическое сходство снежноборских образований с нижнечервуртскими комплексами, а также с породами нижневыхуртской и верхнепесцовотундровской подсвит. Одновременно опровергнута гипотеза о генетическом единстве снежноборской и лебяжинской свит (*Пожиленко и др., 2002*), что обосновано выявленными между ними существенными геохимическими различиями.

Проведенное исследование не дало однозначного решения для корреляции снежноборской свиты (Малые Кейвы) с подсвитами разреза Больших Кейв. Это может объясняться двумя причинами: либо применяемая методика недостаточна для данной задачи, либо сопоставление некорректно в принципе из-за различающихся условий осадконакопления в этих структурах на поздних этапах.

В пользу второй гипотезы свидетельствует тот факт, что лишь лебяжинская свита имеет региональное распространение по всему Кейвскому домену (рис. 3), в то время как для пород червуртской, выхуртской

и песчовотундровской свит непрерывность от Больших к Малым Кейвам не установлена. Это, как показано выше на примере снежноборской свиты, создает основу для разночтений. Например, существуют противоречия в литературе: в то время как одни исследователи (*Предовский и др., 1987*) коррелируют все червуртские образования Малых Кейв с верхнечервуртскими отложениями Больших, другие относят к этому аналогу именно снежноборские комплексы. Кроме того, в разрезе Малых Кейв не выделяются прямые аналоги выхчуртских и песчовотундровских свит, завершающих разрез Больших Кейв.

Для проверки первой гипотезы было проведено сопоставление лебяжинской и червуртской свит, слагающих нижние части разрезов обеих структур (*Козлов и др., 2025*). Учитывая региональный характер лебяжинских отложений, их корреляция представлялась наиболее вероятной. Результаты однозначно подтверждают правомерность такой корреляции, ранее предложенной рядом авторов (*Бельков, 1963; Белолитецкий и др., 1980 и др.*). Этот результат, во-первых, свидетельствует о достаточной разрешающей способности примененного метода определения близости статистически значимых петрогеохимических характеристик для задач подобного типа, а во-вторых, опровергает сомнения в его применимости.

Таким образом, второе предположение о различной геодинамической обстановке на заключительных этапах формирования Кейвской структуры получает дополнительные подтверждения. Вероятно, своеобразие состава снежноборской свиты, а также отсутствие в Малых Кейвах аналогов выхчуртских и песчовотундровских комплексов, связаны именно с этими региональными различиями, что делает поиск прямых стратиграфических аналогов снежноборских отложений в разрезе Больших Кейв малоперспективным.

Необходимость подтверждения правомерности такого предположения определило постановку еще одной проблемы – была поставлена задача определить потенциальные источники сноса для метаосадочных комплексов Кейвской структуры в пространстве и во времени. С этой целью состав метаморфитов Кейв сравнивался как с подстилающими их образованиями, так и с породами окружающих тектонических блоков (доменов).

Согласно существующим представлениям, формирование червуртской и выхчуртской свит происходило в эпоху интенсивного химического выветривания с образованием кор выветривания (*Мирская, 1982; Предовский и др., 1987*) и мощных глинистых толщ (*Сорохтин и др., 2024*). Это указывает на значительную тектоническую стабилизацию региона и позволяет предположить, что источником вещества для этих свит служили в основном породы Кейвского домена. Хотя эти выводы распространялись на всю структуру, ранее они базировались преимущественно на материале по Большим Кейвам.

Наше исследование для Больших Кейв подтвердило эту модель. Данные (табл. 2) свидетельствуют, что метаосадочные породы верхнелебяжинской подсвиты, а также червуртской и выхчуртской свит действительно формировались преимущественно за счет перемиыва подстилающих толщ. Установлена четкая геохимическая преемственность: нижнечервуртские отложения наиболее близки к породам верхов лебяжинской свиты, а верхнечервуртские – к низам червуртской свиты. Аналогичная, хотя и менее выраженная тенденция наблюдается для выхчуртской свиты: ее нижняя подсвита сходна с червуртскими образованиями, а верхняя – с ее собственными низами.

Таблица 2. Сравнение вещества различных свит Больших Кейв с веществом потенциальных источников их терригенного материала  
Table 2. Comparison of the matter of different formations in the Bolshie Keivy with the matter of potential sources for their terrigenous material

Свиты, комплексы*	ЛБЖН	ЛБЖВ	ЧРВН	ЧРВВ	ВХЧН	ВХЧВ	МБ	КН	ТЕР	БЛМР
ЧРВН	10,37	<b>9,42**</b>					14,23	16,58	18,07	23,96
ЧРВВ	21,48	20,59	<b>8,48</b>				19,15	17,91	18,40	20,32
ВХЧН	24,70	21,15	<b>17,19</b>	21,40			28,59	35,46	37,11	42,45
ВХЧВ	16,53	16,84	18,35	8,98	<b>8,01</b>		16,02	15,37	15,02	17,28
ПСЦ	19,97	19,12	18,06	17,45	16,48	15,03	<b>10,19</b>	18,06	20,48	16,47

Примечание. \* – по горизонтали и вертикали – Большие Кейвы. Сокращения для свит и комплексов: ЛБЖН, ЛБЖВ – лебяжинская свита, нижняя и верхняя подсвиты соответственно; ЧРВН, ЧРВВ – червуртская свита, нижняя и верхняя подсвиты соответственно; ВХЧН, ВХЧВ – выхчуртская свита, нижняя и верхняя подсвиты соответственно; ПСЦ – песчовотундровская свита; МБ – Мурманский домен; КН – Кольско-Норвежский домен; ТЕР – Терский домен; БЛМР – Беломорский подвижный пояс; \*\* – жирным шрифтом выделены значения коэффициентов близости, характеризующие максимальное сходство сравниваемых объектов при выбранном уровне значимости 0,01.

Небольшое отклонение от общей закономерности (нижневыхчуртская подсвита, демонстрируя близость к верхнечервуртским породам, максимально сходна все же с нижнечервуртскими) может быть связано с ограниченным объемом выборки проб из этой подсвиты.

Ситуация кардинально меняется для песчовотундровской свиты. В формировании ее разреза начинает существенно участвовать внешний источник – вещество соседних доменов, в первую очередь Мурманского блока. Это указывает на возобновление тектонической активности и изменение палеогеографической обстановки в данный период.

Таким образом, полученные данные подтверждают, что значительная часть разреза Больших Кейв (лебяжинская, червуртская и выхчуртская свиты) сформировалась за счет переотложения вещества самой структуры. Это согласуется с гипотезой о накоплении осадков в условиях длительной тектонической стабилизации, связанной с развитием и перемывом кор выветривания.

В разрезе Малых Кейв аналогичная модель источников сноса однозначно устанавливается для лебяжинской и червуртской свит (табл. 3). Вышележащая снежноборская свита, наиболее близкая по составу к верхам червуртской толщи, демонстрирует сходство с выхчуртской свитой Больших Кейв. Однако ее состав существенно обогащен веществом Мурманского домена, что сближает снежноборские комплексы уже с песчовотундровскими образованиями. Отмеченные расхождения в значениях геохимических коэффициентов объясняются сравнением с разными, латерально неоднородными выборками пород Больших и Малых Кейв.

Таблица 3. Сравнение вещества различных свит Малых Кейв с веществом потенциальных источников их терригенного материала  
 Table 3. Comparison of the matter of different formations in the Malye Keivy with the matter of potential sources for their terrigenous material

Свиты, комплексы*	ЛБЖН	ЛБЖВ	ЧРВН	ЧРВВ	СНБО	МБ	КН	ТЕР	БЛМР
ЧРВН	10,62	<b>8,67**</b>		9,45	12,38	12,24	14,58	16,39	19,01
ЧРВВ	11,95	10,15	<b>9,34</b>		11,76	16,01	15,43	17,88	18,92
СНБО	13,51	11,37	10,44	<b>9,72</b>		11,27	16,95	14,80	19,67

Примечание. \* – по горизонтали и вертикали – Малые Кейвы. Сокращения см. в табл. 2. СНБО – снежноборская свита; \*\* – жирным шрифтом выделены значения коэффициентов близости, характеризующие максимальное сходство сравниваемых объектов при выбранном уровне значимости 0,01.

Обобщая представленные результаты, можно заключить, что ранние этапы осадконакопления (формирование лебяжинской и червуртской свит) в обеих структурах проходили в сходных условиях стабильной платформы за счет внутрибассейновых источников. На поздних этапах пути их развития дивергировали. В Больших Кейвах режим стабилизации сохранялся дольше, вплоть до накопления выхчуртской свиты, после чего тектоническая активизация привела к активному поступлению материала с обрамления (преимущественно Мурманский домен), что зафиксировано в составе песчовотундровской свиты. В Малых Кейвах влияние внешнего источника проявилось раньше и сильнее, что и обусловило своеобразие снежноборской свиты.

Исследование выявило, что тектоническая активизация в Малых Кейвах началась несколько раньше, чем в Больших Кейвах, что непосредственно отразилось в составе снежноборской свиты. Интенсивность этой постчервуртской активизации в Малых Кейвах превышала таковую во время формирования выхчуртской свиты Больших Кейв, но была ниже, чем в период накопления песчовотундровских комплексов. Таким образом, снежноборская свита представляет собой самостоятельную толщу, сформировавшуюся в иных палеогеографических условиях, нежели одновозрастные отложения верхней части разреза Больших Кейв. Полученные геохимические данные не подтверждают ранее предлагавшиеся корреляции этой свиты с какими-либо образованиями Больших Кейв.

Указанные различия в режиме осадконакопления могут быть объяснены латеральной неоднородностью Кейвского палеобассейна. Согласно литературным данным (*Предовский и др., 1978*), Малые Кейвы располагались в его более краевой части. Длительный период тектонической стабильности в этой области создал предпосылки для того, чтобы активизация здесь началась раньше, чем в центральных районах бассейна, т. е. Больших Кейвах.

Настоящая модель согласуется с концепцией формирования Кейвской структуры как срединного массива (*Сорохтин и др., 2024*). Для таких структур характерна замкнутость циклов денудации и седиментации: продолжительная стабилизация, ведущая к развитию мощных кор химического выветривания, сменяется активизацией, разрушением этих кор и переотложением материала с образованием мощного осадочного чехла. Именно такой геодинамический сценарий, по нашему мнению, явился ключевым фактором формирования уникальных по масштабу месторождений алюминиевого сырья в Кейвах. Предложенная реконструкция геологической истории Кейвской структуры непротиворечиво объясняет имеющиеся фактические данные и разрешает существовавшие противоречия в корреляции супракрустальных комплексов ее Большой и Малой частей.

## Выводы

Методика сравнительного геохимического анализа супракрустальных комплексов продемонстрировала свою эффективность при литолого-стратиграфических исследованиях раннедокембрийских образований Кейвской структуры. Ее применение позволило решить ряд вопросов строения и корреляции разрезов, оставшихся неясными при использовании традиционных геологических методов.

Показано, что породы серповидного комплекса (песчовокейвская свита) демонстрируют максимальное петрогеохимическое сходство с отложениями умбинской (Имандра-Варзуга) и куэтсарвинской (Печенга) свит. Это согласуется с установленными корреляционными схемами для палеопротерозоя Кольского региона и подтверждает эффективность использованной методики.

Сравнительный геохимический анализ супракрустальных комплексов позволил установить различную геодинамическую эволюцию главных осадочных структур Кейвского домена – Больших и Малых Кейв. На завершающих этапах этой эволюции накопление толщ в структурах происходило в различных палеотектонических обстановках. В пределах Больших Кейв режим относительно спокойной седиментации преобладал до времени формирования выхчуртской свиты. Интенсивная тектоническая перестройка здесь инициировалась позднее, в эпоху образования песчовотундровских комплексов, о чем свидетельствует появление в разрезе грубообломочного материала, снесенного с обрамляющих поднятий, преимущественно с Мурманского домена. В Малых Кейвах аналогичная фаза тектонической активизации проявилась на более раннем этапе, что нашло отражение в вещественном составе пород снежноборской свиты.

Данную методику целесообразно рекомендовать для применения в ситуациях, когда классические подходы к стратиграфическому расчленению и корреляции оказываются недостаточными. При этом необходимо подчеркнуть, что предлагаемый метод является дополнительным инструментом и должен использоваться исключительно в комплексе с данными первичных геологических наблюдений для уточнения наиболее проблемных вопросов.

## Благодарности

Работа выполнена в рамках темы НИР ФИЦ КНЦ РАН FMEZ-2024-0006 "Геология, геохимия и тектоника докембрийских комплексов Кольского региона как основа металлогенического прогноза северо-запада Арктической зоны Российской Федерации".

Авторы выражают глубокую благодарность Т. С. Марчук за профессиональную и качественную обработку геохимического материала.

## Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## Библиографический список

- Белолипецкий А. П., Гаскельберг В. Г., Гаскельберг Л. А., Антонюк Е. С. [и др.]. Геология и геохимия метаморфических комплексов раннего докембрия Кольского полуострова. Л. : Наука, 1980. 240 с.
- Бельков И. В. Кианитовые сланцы свиты Кейв: геологическое строение, кристаллические сланцы и кианитовые руды. М.-Л. : АН СССР, 1963. 321 с.
- Борисов А. Е. Вулканизм и самородное медное оруденение в раннем протерозое Кольского п-ова. Апатиты : КНЦ АН СССР, 1990. 68 с.
- Геологическая карта Кольского региона (северо-восточная часть Балтийского щита). Масштаб 1:500000 / ред. Ф. П. Митрофанов. Апатиты : ГИ КНЦ РАН, 1996.
- Загородный В. Г., Бекасова Н. Б., Пушкин Г. Ю., Радченко А. Т. Особенности среднепротерозойского вулканогенно-осадочного литогенеза на Кольском полуострове // Материалы по металлогении Кольского полуострова. Апатиты, 1980. С. 5–22.
- Загородный В. Г., Радченко А. Т. Тектоника раннего докембрия Кольского полуострова: Состояние изученности и проблемы. Л. : Наука : Ленингр. отд-ние, 1983. 94 с.
- Изох Э. П. Оценка рудоносности гранитоидных формаций в целях прогнозирования. М. : Недра, 1978. 137 с.
- Козлов Н. Е., Сорохтин Н. О., Мудрук С. В. Использование методики сравнения состава супракрустальных толщ для стратиграфических корреляций раннедокембрийских комплексов (на примере Кейвского домена) // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. 2025. № 22. С. 287–293. DOI: <https://doi.org/10.31241/fns.2025.22.041>. EDN: IDKFNI.
- Мележик В. А., Предовский А. А. Геохимия раннепротерозойского литогенеза. Л. : Наука : Ленингр. отд-ние, 1982. 208 с.
- Мирская Д. Д. Предчуртские терригенные породы и уровни выветривания // Вулканизм и седиментогенез докембрия Кольского полуострова : сб. ст. / отв. ред. А. А. Предовский. Апатиты : Кол. фил. АН СССР, 1982. С. 40–50.
- Мудрук С. В. Стратиграфия Кейвского террейна: обзор // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. 2022. № 19. С. 253–259. DOI: <https://doi.org/10.31241/fns.2022.19.046>. EDN: UWBGRF.

- Пожиленко В. И., Гавриленко Б. В., Жиров Д. В., Жабин С. В. Геология рудных районов Мурманской области. Апатиты : КНЦ РАН, 2002. 359 с.
- Предовский А. А., Мележик В. А., Болотов В. И., Федотов Ж. А. [и др.]. Вулканизм и седиментогенез докембрия северо-востока Балтийского щита. Л. : Наука, 1987. 185 с.
- Радченко А. Т., Балаганский В. В., Басалаев А. А., Беляев О. А. [и др.]. Объяснительная записка к Геологической карте северо-восточной части Балтийского щита масштаба 1:500000 / отв. ред. Ф. П. Митрофанов. Апатиты, 1994. 95 с.
- Ремизова А. М., Семушина Н. А., Плотникова И. А. Объяснительная записка к геологической карте Мурманской области. Масштаб 1:200000. Листы Q-37-I, II. Краснощелье // Отчет о составлении обновленной цифровой геологической карты Мурманской области масштаба 1:200000. Книга 18. Апатиты, 2007. 117 с.
- Сорохтин Н. О., Козлов Н. Е., Глазнев В. Н., Кудряшов Н. М. Архей Балтийского щита. Апатиты : Изд-во Кольского научного центра, 2024. 715 с.
- Чернявский А. В., Волошин А. В., Борисова В. В., Борисов А. Е. [и др.]. Самородные Cu и Ag в эффузивах Имандра-Варзуги // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. 2010. № 7. С. 106–109. EDN: WWMALH.
- Martin A. P., Condon D. J., Prave A. R., Melezhik V. A. [et al.]. Dating the termination of the Palaeoproterozoic Lomagundi-Jatuli carbon isotopic event in the north Transfennoscandian Greenstone belt // *Precambrian Research*. 2013. Vol. 224. P. 160–168. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2012.09.010>.
- Melezhik V. A., Hanski E. J. The early Palaeoproterozoic of Fennoscandia: Geological and tectonic settings // *Reading the Archive of Earth's Oxygenation. Frontiers in Earth Sciences*. Springer, Berlin, Heidelberg, 2013. P. 33–38. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-642-29682-6\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-642-29682-6_3).
- Melezhik V. A., Sturt B. A. General geology and evolutionary history of the early Proterozoic Polmak–Pasvik–Pechenga–Imandra/Varzuga–Ust'-Ponoy Greenstone Belt in the northeastern Baltic Shield // *Earth-Science Review*. 1994. Vol. 36, Iss. 3–4. P. 205–241. DOI: [https://doi.org/10.1016/0012-8252\(94\)90058-2](https://doi.org/10.1016/0012-8252(94)90058-2).

## References

- Belolipetsky, A. P., Gaskelberg, V. G., Gaskelberg, L. A., Antonyuk, E. S. et al. 1980. Geology and geochemistry of the early Precambrian metamorphic complexes of the Kola Peninsula. Leningrad. (In Russ.)
- Bel'kov, I. V. 1963. Kyanite Schists of the Keivy Formation. Moscow. (In Russ.)
- Borisov, A. E. 1990. Volcanism and native copper mineralization in the Early Proterozoic of the Kola Peninsula. Apatity. (In Russ.)
- Geological map of the Kola region (Northeastern Baltic Shield) on a Scale of 1:500000. 1996. Ed. by F. P. Mitrofanov. Geol. Inst. Kola Sci. Center, RAS, Apatity. (In Russ. and Engl.)
- Zagorodny, V. G., Bekasova, N. B., Pushkin, G. Yu., Radchenko, A. T. 1980. Features of Middle Proterozoic volcanogenic-sedimentary lithogenesis on the Kola Peninsula. Materials on the Metallogeny of the Kola Peninsula. Apatity. (In Russ.)
- Zagorodny, V. G., Radchenko, A. T. 1983. Early Precambrian Tectonics of the Kola Peninsula. Leningrad. (In Russ.)
- Izokh, E. P. 1978. Evaluation of ore content of granitoid formations for forecasting purposes. Moscow. (In Russ.)
- Kozlov, N. E., Sorokhtin, N. O., Mudruk, S. V. 2025. Application of the supracrustal sequence composition comparison method for stratigraphic correlations of the Early Precambrian complexes (example of the Keivy Domain). *Proceedings of the Fersman Scientific Session of the GI KSC RAS*, 22, pp. 287–293. DOI: <https://doi.org/10.31241/fns.2025.22.041>. EDN: IDKFNI. (In Russ.)
- Melezhik, V. A., Predovsky, A. A. 1982. Geochemistry of early Proterozoic Lithogenesis. Leningrad. (In Russ.)
- Mirskaya, D. D. 1982. Pre-Chervurta terrigenous rocks and weathering levels. In *Volcanism and Sedimentogenesis of the Precambrian of the Kola Peninsula*. Ed. A. A. Predovsky. Apatity, pp. 40–50. (In Russ.)
- Mudruk, S. V. 2022. Stratigraphy of the Keivy Terrane: A review. *Proceedings of the Fersman Scientific Session of the GI KSC RAS*, 19, pp. 253–259. DOI: <https://doi.org/10.31241/fns.2022.19.046>. EDN: UWBGFR. (In Russ.)
- Pozhilenko, V. I., Gavrilenko, B. V., Zhiron, D. V., Zhabin, S. V. 2002. Geology of mineral areas of the Murmansk region. Apatity. (In Russ.)
- Predovsky, A. A., Melezhik, V. A., Bolotov, V. I., Fedotov, G. A. et al. 1987. Volcanism and sedimentation genesis in the Precambrian in the NE Baltic Shield. Leningrad. (In Russ.)
- Radchenko, A. T., Balagansky, V. V., Basalayev, A. A., Belyayev, O. A. et al. 1994. An explanatory note on geological map of the North-Eastern Baltic Shield of a scale of 1:500000. Ed. F. P. Mitrofanov. Apatity. (In Russ.)
- Remizova, A. M., Semushina, N. A., Plotnikova, I. A. 2007. An explanatory note on geological map of the Murmansk Region 1:200000. Paper Q-37-I, II. Report on the compilation of an updated digital geological map of the Murmansk region on a scale 1:200000. Book 18. Apatity. (In Russ.)
- Sorokhtin, N. O., Kozlov, N. E., Glaznev, V. N., Kudryashov, N. M. 2024. The Archean of the Baltic Shield. Apatity. (In Russ.)

- Chernyavsky, A. V., Voloshin, A. V., Borisova, V. V., Borisov, A. E. et al. 2010. Native Cu and Ag in effusive rocks of the Imandra-Varzuga zone. *Proceedings of the Fersman Scientific Session of the GI KSC RAS*, 7, pp. 106–109. EDN: WWMALH. (In Russ.)
- Martin, A. P., Condon, D. J., Prave, A. R., Melezhik, V. A. et al. 2013. Dating the termination of the Palaeoproterozoic Lomagundi-Jatuli carbon isotopic event in the north Transfennoscandian Greenstone belt. *Precambrian Research*, 224, pp. 160–168. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2012.09.010>.
- Melezhik, V. A., Hanski, E. J. 2013. The early Palaeoproterozoic of Fennoscandia: Geological and tectonic settings. In *Reading the Archive of Earth's Oxygenation. Frontiers in Earth Sciences*. Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 33–38. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-642-29682-6\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-642-29682-6_3).
- Melezhik, V. A., Sturt, B. A. 1994. General geology and evolutionary history of the early Proterozoic Polmak–Pasvik–Pechenga–Imandra/Varzuga–Ust'-Ponoy Greenstone Belt in the northeastern Baltic Shield. *Earth-Science Review*, 36(3–4), pp. 205–241. DOI: [https://doi.org/10.1016/0012-8252\(94\)90058-2](https://doi.org/10.1016/0012-8252(94)90058-2).

#### Сведения об авторах

**Козлов Николай Евгеньевич** – ул. Ферсмана, 14, г. Апатиты, Мурманская обл., Россия, 184209; Геологический институт КНЦ РАН, д-р геол.-минерал. наук, профессор; e-mail: [n.kozlov@ksc.ru](mailto:n.kozlov@ksc.ru)

**Nikolay E. Kozlov** – 14 Fersmana Str., Apatity, Murmansk region, Russia, 184209; Geological Institute KSC RAS, Dr Sci. (Geol.-Mineral.), Professor; e-mail: [n.kozlov@ksc.ru](mailto:n.kozlov@ksc.ru)

**Мудрук Сергей Владимирович** – ул. Ферсмана, 14, г. Апатиты, Мурманская обл., Россия, 184209; Геологический институт КНЦ РАН;  
– ул. Лесная, 29, г. Апатиты, Мурманская обл., Россия, 184209;  
Филиал Мурманского арктического университета в г. Апатиты, канд. геол.-минерал. наук, доцент;  
e-mail: [s.mudruk@ksc.ru](mailto:s.mudruk@ksc.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2051-8769>

**Sergey V. Mudruk** – 14 Fersmana Str., Apatity, Murmansk region, Russia, 184209; Geological Institute KSC RAS;  
– 29 Lesnaya Str., Apatity, Murmansk region, Russia, 184209;  
Apatity Branch of Murmansk Arctic University, Cand. Sci. (Geol.-Mineral.), Associate Professor;  
e-mail: [s.mudruk@ksc.ru](mailto:s.mudruk@ksc.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2051-8769>

**Сорохтин Николай Олегович** – Нахимовский пр., 36, г. Москва, Россия, 117997; Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, д-р геол.-минерал. наук, гл. науч. сотрудник;  
e-mail: [nsorokhtin@mail.ru](mailto:nsorokhtin@mail.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2057-3693>

**Nikolay O. Sorokhtin** – 36 Nakhimovsky Ave., Moscow, Russia, 117997; Shirshov Institute of Oceanology RAS, Dr Sci. (Geol.-Mineral.), Chief Researcher;  
e-mail: [nsorokhtin@mail.ru](mailto:nsorokhtin@mail.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2057-3693>