

Использование методики сравнения состава супракрустальных толщ для стратиграфических корреляций реннедокембрийских комплексов (на примере Кейвского домена)

Козлов Н. Е.¹, Сорохтин Н. О.¹, Мудрук С. В.^{1, 2}

¹ Геологический институт КНЦ РАН, Апатиты, n.kozlov@ksc.ru

² Филиал Мурманского Арктического университета в г. Апатиты

Аннотация. Ранее была разработана методика оценки степени сходства геологических объектов, позволяющая, в отличие от большинства широко используемых в геохимии методов, работать с неоднородными выборками. Этот метод позволяет достаточно надежно определять меру сходства геологических объектов. В настоящей работе на примере исследования супракрустальных образований Кейвского домена показана возможность его применения при литолого-стратиграфических исследованиях раннедокембрийских комплексов, для которых использование традиционных геологических методов вызывает сложности. Установлено, что образование верхов лебяжинской свиты и червурвуртских подсвит накапливались и в Больших, и в Малых Кейвах, главным образом, за счет перемыва нижележащих комплексов пределах всей Кейвской структуры. На более поздних этапах формирования толщ Больших и Малых Кейв происходило в различных обстановках. В первых она оставалась прежней еще некоторое время, пока шло формирование выхчуртской свиты. Затем, при формировании песчовотундровских комплексов, тектонический режим активизировался и в осадконакопление было вовлечено вещество комплексов обрамления, главным образом, Мурманского домена. В Малых Кейвах активизация тектонического режима произошла чуть раньше, что нашло свое отражение в веществе снежноборской свиты. Причем здесь постчервуртская активизация была большей, чем во время образования выхчуртских подсвит Больших Кейв, но несколько меньшей, чем при образовании там песчовотундровских комплексов. Предложенный вариант реконструкции геологической истории Кейв удовлетворительно объясняет все известные вопросы и противоречия, возникавшие ранее при проведении геологических корреляций супракрустальных комплексов Больших и Малых Кейв.

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

Using the method of comparing the composition of supracrustal units for stratigraphic correlations of Precambrian complexes (an example for the Keivy domain)

Kozlov N. E.¹, Sorokhtin N. O.¹, Mudruk S. V.^{1, 2}

¹ Geological Institute KSC RAS, Apatity, n.kozlov@ksc.ru

² Apatity branch of Murmansk Arctic University

Abstract. Previously, a method for assessing the degree of similarity of geological objects was developed, which, unlike most methods widely used in geochemistry, allows working with heterogeneous samples. This method allows for a fairly reliable determination of the degree of similarity of geological objects. In this paper, using the example of studying supracrustal formations of the Keivy domain, the possibility of its application in lithological and stratigraphic studies of Early Precambrian complexes is shown, for which the use of traditional geological methods causes difficulties. It was established that the formation of the upper Lebyzhinskaya suite and Chervurvurtsky subsuites accumulated in both Bolshie and Malye Keivy, mainly due to the rewashing of underlying complexes within the entire Keivy structure. At later stages, the formation of the Bolshie and Malye Keivy strata occurred in different settings. In the former, it remained the same for some time while the Vykchurtskaya suite was being formed. Then, during the formation of the Pestsovtundra complexes, the tectonic regime became more active and the matter of the framing complexes, mainly of the Murmansk domain, was involved in sedimentation. In Malye Keivy, the tectonic regime became more active a little earlier, which was reflected in the matter of the Snezhnoborskaya suite. Here, the post-Chervurtskaya activation was greater than during the formation of the Vykchurtskaya subsuites of Bolshiye Keivy, but somewhat less than during the formation of the Pestsovtundra complexes there. The proposed version of the reconstruction of the geological history of Keivy satisfactorily explains all the known questions and contradictions that arose earlier during the geological correlations of the supracrustal complexes of Bolshiye and Malye Keivy.

Keywords: Precambrian, Arctic zone, Fennoscandian Shield, Keivy domain, geodynamics, supracrustal rocks.

Введение

Ранее, при создании методов реконструкции первичной природы пород древнейших комплексов и геодинамических условий их формирования Е. В. Мартыновым при участии авторов настоящей статьи была разработана методика оценки степени сходства геологических объектов. Подробно она описана в ряде публикаций, в том числе недавно вышедшей монографии (Сорохтин и др., 2024). При ее создании мы исходили из того, что химический состав пород геологических объектов представлен неоднородными выборками (полимодальное распределение составов, наличие аномальных значений и т. п.). Поэтому, как показал наш многолетний опыт, использование уже известных методов, широко применяемых в геохимии, обычно не давало надежных результатов. Именно это определило необходимость выбора оптимальной меры сходства между геологическими объектами и побудило Е.В. Мартынова (Мартынов, 2008) разработать новые подходы к определению меры их сходства.

Предложенная им методика давала неплохие результаты при сравнении состава различных раннедокембрийских объектов. Это привело нас к мысли попробовать использовать ее при литолого-стратиграфических исследованиях раннедокембрийских супракустальных комплексов, где зачастую задачи проведения корреляции тех или иных толщ или выяснение вопроса о возможных областях сноса метаосадочных толщ решаются путём сравнения геологических объектов. Постановка такой задачи определялась тем, что решение подобных проблем при исследовании супракустальных образований традиционными геологическими методами во многих случаях вызывает сложности, связанные со следующим:

1. Реконструкция первичной природы метаморфитов в случае, если их преобразование проходило в условиях амфиболитовой или гранулитовой фаций, порой затруднительно. Одни и те же породы, преобразованные в различных Р-Т условиях, имеют зачастую различный облик, что делает сложным, а порой и невозможным использование прямых геологических наблюдений и сведений об их минеральном составе для перечисленных выше целей.

2. Зачастую, в силу плохой обнаженности, отсутствуют непрерывные разрезы, что в сочетании с первичной латеральной изменчивостью толщ, накладывающей дополнительные ограничения на проведение реконструкций, еще более усложняет проведение этих исследований.

Предложенная нами методика позволяет на основе данных о химическом составе выявлять наиболее сходные геологические объекты, что дает возможность уточнять вопросы их корреляции (рис. 1). Кроме того, она может быть использована при установлении возможных источников вещества метаосадочных толщ. Так, если, согласно геологическим исследованиям, обломочным материалом для формирования изучаемого нами объекта могли быть несколько контактирующих с ним комплексов пород, рассчитанная с помощью этой методики мера близости их состава позволяет установить объекты, которые наиболее сходны с ним, то есть обломочный материал которых, скорее всего, участвовал в его формировании наиболее активно (рис. 2).

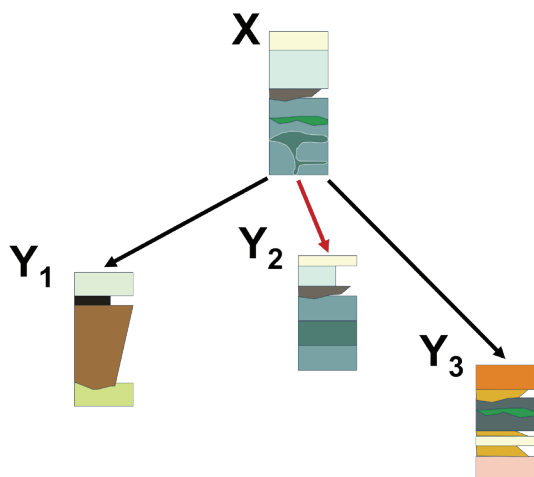
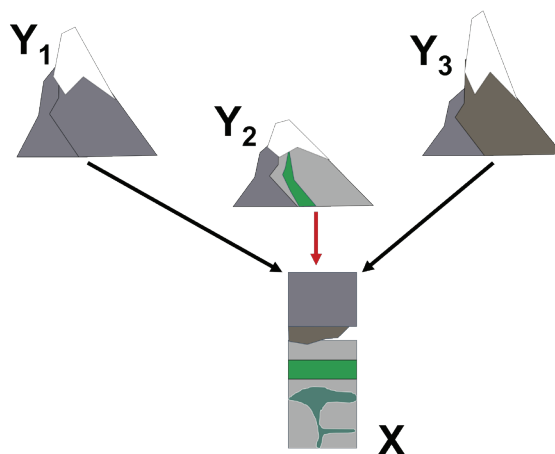


Рис. 1. Иллюстрация метода вычисления сходства объекта X с объектами Y₁, Y₂ и Y₃ при решении вопросов корреляции. Стрелками показана степень сходства (коэффициенты близости) объектов. Красная стрелка – минимальный коэффициент близости, указывающий на то, что корреляция объекта X с объектом Y₂ наиболее вероятна

Fig. 1. Illustration of the method for calculating the similarity of object X with objects Y₁, Y₂ and Y₃ when solving correlation issues. The arrows show the degree of similarity (closeness coefficients) of the objects. The red arrow is the minimum closeness coefficient, indicating that the correlation of object X with object Y₂ is most probable

Рис. 2. Иллюстрация метода вычисления сходства объекта X с объектами Y_1 , Y_2 и Y_3 при решении вопросов об областях сноса вещества, участвовавшего в формировании объекта X . Стрелками показана степень сходства (коэффициенты близости) объектов. Красная стрелка – минимальный коэффициент близости, указывающий на то, что обломочный материал объекта Y_2 наиболее активно участвовал в формировании объекта X

Fig. 2. Illustration of the method for calculating the similarity of object X with objects Y_1 , Y_2 and Y_3 when solving questions about the areas of demolition of the substance that participated in the formation of object X . The arrows show the degree of similarity (closeness coefficients) of the objects. The red arrow is the minimum closeness coefficient, indicating that the detrital material of object Y_2 participated most actively in the formation of object X



Суть нашего подхода сводится к выбору конкретных объектов какой-либо структуры, с которыми, согласно поставленным задачам, сформулированным на основании имеющихся геологических данных, следует проводить такое сопоставление, с последующим сравнением состава этих объектов. Вычисляемые при решении этой задачи коэффициенты близости сравниваемых объектов позволяют оценивать меру их сходства.

Добавим, что при проведении таких сопоставлений мы предлагаем использовать подход, предложенный Э. П. Изохом (1978), согласно которому при случайном опробовании комплексов и наличии представительных выборок, расчет их среднего состава близок к расчету по реальным соотношениям пород. Следует подчеркнуть, что результаты такого исследования являются вероятностными и дополняют весь комплекс данных, имеющихся в руках геологов, исследующих данный объект.

Обсуждение результатов

Примером результативности применения данной методики могут служить исследования, проведенные нами в пределах Кейвского домена, более подробно описанные ранее (Козлов и др., 2023 а, б). Применение ее при изучении комплексов данного региона определялось следующим. Геологическая карта Кейвской структуры (рис. 3) и предполагаемые разрезы слагающих ее комплексов (рис. 4) строились изучавшими ее ранее исследователями в определенной доле условности. Она была связана с тем, что лишь для лебяжинской свиты, подстилающей, по И. В. Белькову (1963), кейвскую свиту, корреляция в пределах всей структуры, включая как Большие, так и Малые Кейвы, достаточно определенная, с учетом ее достаточно широкого распространения. Что касается кейвской свиты или серии (по (Белолипецкий и др., 1980)), то здесь подобные корреляции разрезов Больших и Малых Кейв проводить достаточно сложно в силу отсутствия или крайне ограниченного распространением червуртской и выхчуртской свит, слагающих разрез первых, в пределах вторых.

Еще больше вопросов возникает при проведении корреляции толщ в верхней части кейвского разреза. Ряд авторов допускает распространение образований песчовотундровской свиты в пределах всей Кейвской структуры, другие же, формально относя эти комплексы к верхней части песчовотундровской свиты, называют ее серией и выделяют в ее составе золотореченскую (Большие Кейвы) и малокейвские, или снежноборские (Малые Кейвы) образования (рис. 4).

Эти проблемы обозначены в целом ряде работ. Так, в публикации А. Т. Радченко (1994) написано следующее: «Устанавливается залегание песчовотундровской свиты на древнейших гнейсах и гранитоидах, нередко с корой выветривания в основании. О более молодом, сариолийском возрасте этой свиты никаких данных нет, так как разрезы сариолия имеют другой состав, строение и положение в структуре. Имеющиеся материалы склоняют авторов к интерпретации положения песчовотундровской свиты как подстилающей сумийский разрез и завершающей разрез сланцев кейвской серии верхнего архея. Очевидно, только новые исследования и изотопные датировки могут вывести эту проблему из состояния гипотетических сопоставлений на уровень обоснованных решений» (Радченко и др., 1994, стр. 47). И далее, рассматривая вопрос о строении разреза Малых Кейв:

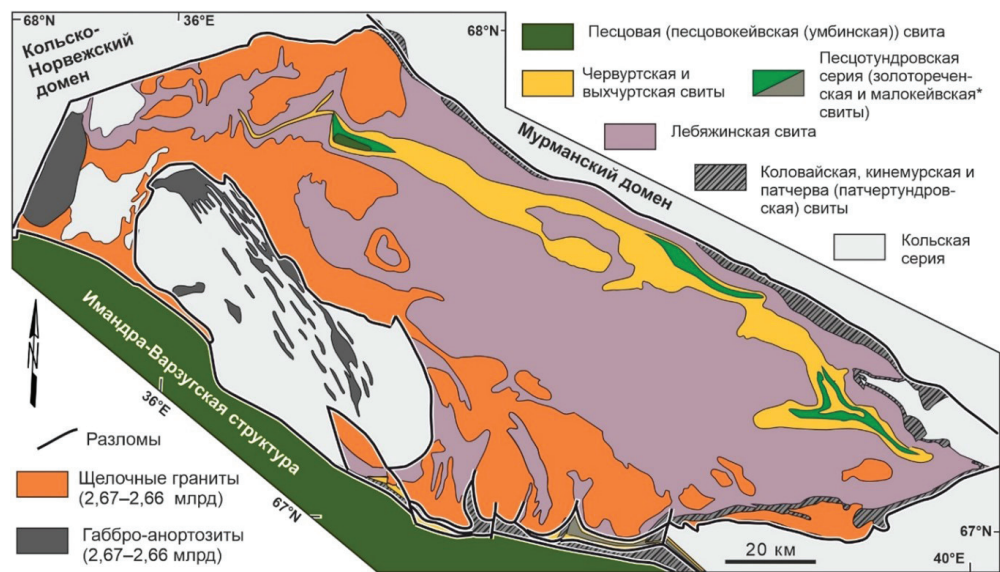


Рис. 3. Геологическая карта Кейвского домена по (Геологическая карта..., 1996) с упрощениями и дополнениями. Основные названия свит даны по (Радченко и др., 1994), в скобках даны альтернативные названия по (Ремизова и др., 2007) и (Белопицкий и др., 1980). *В настоящей работе снежноборская

Fig. 3. Geological map of the Keivy terrane with simplifications and additions. The main names of the suites are given after (Radchenko et al., 1994), alternative names after (Remizova et al., 2007) are given in brackets, and after (Belolipetsiky et al., 1980) – in double brackets. *In this work, Snezhnoborskaya

«Строго говоря, песчотундровская свита в этом районе (снежноборская) не является таковой, так как не связана физической непрерывностью со стратотипом в Больших Кейвах. Только ее положение в разрезе, состав и строение дают основание для такой корреляции. Но имеются основания и для сомнений, и потому необходимы дополнительные исследования» (Радченко и др., 1994, стр. 47).

Сходные мысли звучат и у других исследователей данной структуры. Так, в работе А. А. Предровского с коллегами (1987) написано: «Выделение в разрезе Малых Кейв и района р. Чапома снежноборской и березовской свит, представленных кварц-мусковитовыми и гранат-ставролитовыми сланцами, и сопоставление их с нижнечервуртской подсвитой (здесь авторы имеют ввиду свою

Белопицкий и др., 1980		Бельков, 1963	Радченко и др., 1994		Ремизова и др., 2007	
Серия	Свита/толща	Пачка	Свита/серия/толща		Свита (толща)	Серия
Барзугская	Умбинская свита 725-925 м	Ж Е	Песцовая серия 1000-1150 м		Песцовокейская свита 725-925 м	Песчотундровская
Песчотундровская	Золотореченская свита 70-450 м	Д	Песчотундровская свита** 1100 м		Золотореченская свита 450 м	
	Малокейская свита* 30-200 м				Малокейская свита* 200 м	
Кейвская	Выхчуртская свита 0-710 м	Г В	Выхчуртская свита		Выхчуртская свита 500-710 м	Кейвская
	Червуртская свита 45-580 м	Б А	Червуртская свита		Червуртская свита 600-1050 м	
Тундровая	Лебяжинская свита 270-1500 м	Тундровая свита	Лебяжинская толща 2500 м		Лебяжинская свита 980-1300 м	Понойская
	Патчервотундровская свита 800-1000 м		Свита патчерва 1000 м		Патчервотундровская свита 1500 м	
	Устьюгоньская толща 800-1000 м				Устьюгоньская толща 1600 м	
	Коловайская толща 800-1000 м		Коловайская, кинемурская свиты 500 м		Кинемурская толща <1000 м	

Рис. 4. Стратиграфические схемы Кейвского террейна по (Бельков, 1963; Белопицкий и др., 1980; Радченко и др., 1994; Ремизова и др., 2007). *В настоящей работе снежноборская

Fig. 4. Stratigraphic schemes of the Keivy terrane after (Belkov, 1963; Belolipetsky et al., 1980; Radchenko et al., 1994; Remizova et al., 2007). *In this work, Snezhnoborskaya

точку зрения на корреляцию. – *Прим. автора*) не является традиционной (Предовский и др., 1987, стр. 59). И далее: «Проведенные исследования показали, что прямое сопоставление данных образований (речь идет о мнении большинства исследователей о корреляции снежноборских и песчовотундровской свит. – *Прим. автора*) не оправдано (Предовский и др., 1987, стр. 59).

Из приведенного следует, что традиционные методы, которые широко использовались геологами (заметим, очень квалифицированными), изучавшими этот регион, не позволили им решить задачу проведения корреляций разрезов Больших и Малых Кейв. Именно поэтому нами было принято решение о дополнительном изучении данного вопроса с использованием описанной выше методики.

При сравнении состава пород снежноборской свиты с комплексами Кейвской структуры и ее обрамления было установлено, что они наиболее близки к образованиям Мурманского домена (Козлов и др., 2023 б). Это позволило нам считать данную структуру одной из основных потенциальных областей сноса при формировании снежноборских толщ. Одновременно полученные нами результаты не подтвердили ранее высказывавшегося предположения (Геология рудных..., 2002) о формировании толщ снежноборской свиты за счет вещества лебяжинской свиты.

Затем мы сопоставили породы снежноборской свиты с наиболее близкими к ней в пределах Больших Кейв червуртскими, выхчуртскими и песчовотундровскими породами свит Больших Кейв, что показало наибольшее сходство с нижнечервуртскими комплексами. Заметим, что на этом этапе исследований наш результат был максимально близок к выводу А. А. Басалаева (Предовский и др., 1987), приведенному выше.

Напомним, что ранее нами было показано, что источником вещества для нижнечервуртских образований могли служить, с большой долей вероятности, породы подстилающей ее верхнелебяжинской подсвиты, что свидетельствует о некоторой стабилизации тектонического режима (Козлов и др., 2023 а). В то же время, для вроде бы наиболее сходных с ними по составу снежноборских пород в качестве источника можно предполагать породы Мурманского домена, что позволяет говорить о тектонической активизации.

Все изложенное не позволило на этом этапе исследований принять какую-либо из предложенных ранее точек зрения о корреляции разрезов Больших и Малых Кейв и продолжить исследования. В качестве рабочей гипотезы было принято предположение о формировании малокейвских комплексов как самостоятельной структуры (Козлов и др., 2023 б).

Для проверки этой гипотезы было проведено сравнение состава других комплексов, встречающихся в пределах как Больших, так и малых Кейв (табл. 1). Полученные результаты не подтверждают ее – наблюдается полное сходство состава всех подсвит как лебяжинской, так и червуртской свит Малых Кейв с соответствующими образованиями Больших Кейв. То есть вариант корреляции этих толщ, предложенный ранее рядом исследователей (Бельков, 1963; Белолипецкий и др., 1980; Радченко и др., 1994; Ремизова и др., 2007), результатами наших исследований полностью подтверждается. Заметим, это является также и подтверждением достаточно высокого разрешения предложенного нами метода для решения подобных задач.

Таблица 1. Сравнение вещества различных подсвит Малых и Больших Кейв
Table 1. Comparison of the matter of different formations in the Small and Large Keivy

Свиты, комплексы*	ЛБЖН	ЛБЖВ	ЧРВН	ЧРВВ	ВХЧТ
ЛБЖН	8.96**	9.01	10.37	10.42	16.65
ЛБЖВ	9.48	9.25	10.28	10.88	17.13
ЧРВН	18.32	17.67	11.05	12.62	13.95
ЧРВВ	18.01	17.54	12.68	9.57	13.72

Примечание. * по горизонтали – Большие Кейвы, по вертикали – Малые Кейвы. Сокращения для свит и комплексов: ЛБЖН, ЛБЖВ – лебяжинская свита, нижняя и верхняя подсвиты, соответственно; ЧРВН, ЧРВВ – червуртская свита, нижняя и верхняя подсвиты, соответственно; ВХЧТ – выхчуртская свита; ПСЦ – песчовотундровская свита; СНБО – снежноборская свита;

** Здесь и далее жирным шрифтом выделены значения, характеризующие максимальную близость сравниваемых объектов при выбранном уровне значимости 0.01.

Возвращаясь к выводу о проблемах поиска аналогов снежноборской свиты в пределах Больших Кейв, с учетом полученных результатов сравнения ее состава с составом свит Больших Кейв, можно предположить, что различия в формировании метаосадочных комплексов Малых и Больших Кейв проявились на завершающих этапах развития кейвской структуры. В пользу этого предположения свидетельствует и отсутствие в пределах Малых Кейв однозначно установленных аналоговых выхуртских и песчовотундровских комплексов.

Для проверки этого предположения нами была детально исследована ранее выявленная закономерность сходства вышележащих комплексов с подстилающими их образованиями (Козлов и др., 2023 а). Причем, в отличие от предыдущих исследований, сделанных на материалах по всей кейвской структуре, мы провели подобное исследование отдельно для Больших и Малых Кейв (табл. 2 и 3). Для Больших Кейв результат (табл. 2) аналогичен полученному ранее для всей кейвской структуры. Это вполне объяснимо, поскольку материал метаосадочных пород Больших Кейв преобладал в обобщенных выборках, сформированных для решения предыдущей, общей задачи.

В Малых Кейвах установленная ранее закономерность также четко прослеживается для лебяжинской и червуртской свит (табл. 3). Залегающая выше по разрезу снежноборская свита наиболее сходна по составу с верхами червуртской свиты, то есть «ведет себя» аналогично выхуртской свите Больших Кейв. В то же время она значительно ближе по составу к породам Мурманского домена, чем выхуртские образования Больших Кейв. В этом у нее намечаются черты сходства с песчовотундровскими комплексами. То есть оснований для корреляции снежноборской свиты с какой-либо конкретной свитой Больших Кейв нет.

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 Large 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	9.42					14.23	16.58	18.07	23.96
ЧРВВ	21.48	20.59	8.48				19.15	17.91	18.40	20.32
ВХЧН	24.70	21.15	17.19	21.40			28.59	35.46	37.11	42.45
ВХЧВ	16.53	16.84	18.35	8.98	8.01		16.02	15.37	15.02	17.28
ПСЦ	19.97	19.12	18.06	17.45	16.48	15.03	10.19	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 – выхуртская свита, нижняя и верхняя подсвиты, соответственно; ПСЦ – песчовотундровская свита; МБ – Мурманских домен; КН – Кольско-Норвежский домен; ТЕР – Терский домен; БЛМР – Беломорский подвижный пояс.

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 Small 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	8.67		9.45	12.38	12.24	14.58	16.39	19.01
ЧРВВ	11.95	10.15	9.34		11.76	16.01	15.43	17.88	18.92
СНБО	13.51	11.37	10.44	9.72		11.27	16.95	14.80	19.67

Примечание. * По горизонтали и вертикали – Малые Кейвы. Сокращения см. в табл. 3. СНБО – снежноборская свита.

Исходя из всей совокупности полученных данных можно предполагать, что образования верхов лебяжинской свиты и червуртских подсвит накапливались, главным образом, за счет перемыва нижележащих комплексов Кейвской структуры. На более поздних этапах формирования большекейвского и малокейвского разрезов происходило в различных обстановках. В Больших Кейвах она оставалась прежней еще некоторое время, пока шло формирование выхуртской свиты. Затем тектонический режим активизировался и в осадконакопление более активно было вовлечено веще-

ство комплексов обрамления, главным образом, Мурманского домена. Это проявилось в составе пород песчовотундровской толщи.

В Малых Кейвах активизация тектонического режима произошла чуть раньше, что нашло свое отражение в веществе снежноборской свиты. Причем здесь постчервуртская активизация была большей, чем во время образования выхчуртских подсвет Больших Кейв, но несколько меньшей, чем при образовании там песчовотундровских комплексов. Описанное отличие режимов осадконакопления в Больших и Малых Кейвах может быть объяснено территориальным различием в положении этих районов в пределах палеобассейна кейвского времени.

Таким образом, предложенный вариант реконструкции геологической истории Кейв объясняет все известные вопросы и противоречия, возникавшие при проведении геологических корреляций супракрустальных комплексов Больших и Малых Кейв, вполне удовлетворительно.

Выводы

Предложенная методика сравнения состава супракрустальных комплексов дает хорошие результаты при проведении литолого-стратиграфических исследований реннедокембрийских комплексов Кейвской структуры и позволила ответить на ряд вопросов о строении и возможной корреляции ее разрезов, чего не было сделано ранее при использовании традиционных геологических методов. На наш взгляд, ее можно рекомендовать для использования при проведении литолого-стратиграфических исследований, когда применение иных, традиционных подходов по тем или иным причинам затруднительно. При этом хотелось бы подчеркнуть, что предлагаемый нами метод является, по своей сути дополнительным, и должен использоваться в тесной связи со всей совокупностью геологической информации для ее уточнения.

Благодарности

Работа выполнена в рамках темы НИР ГИ КНЦ РАН № FMEZ-2024-0006.

Литература

1. Белоплицкий А. П., Гаскельберг В. Г., Гаскельберг Л. А., Антонюк Е. С., Ильин Ю. И. Геология и геохимия метаморфических комплексов раннего докембрия Кольского полуострова. Л. Изд-во: Наука, 1980. 238 с.
2. Бельков И. В. Кианитовые сланцы свиты Кейв. М.–Л. Изд-во: АН СССР, 1963. 322 с.
3. Геологическая карта Кольского региона (северо-восточная часть Балтийского щита). Масштаб 1:500000 / Ред. Ф. П. Митрофанов. Апатиты. Изд-во: КНЦ РАН, 1996.
4. Геология рудных районов Мурманской области. Апатиты. Изд-во: КНЦ РАН, 2002. 359 с.
5. Изох Э. П. Оценка рудоносности гранитоидных формаций в целях прогнозирования. М. Изд-во: Недра, 1978. 136 с.
6. Козлов Н. Е., Сорохтин Н. О., Марчук Т. С. Развитие Кейвского домена в докембрии // Вестник МГТУ. 2023 а. Т. 26, № 1. С. 18–24. <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2023-26-1>.
7. Козлов Н. Е., Сорохтин Н. О., Мудрук С. В. О возможной корреляции супракрустальных комплексов Малых и Больших Кейв, Кольский регион // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. 2023 б. № 20. С. 579–584. <https://doi.org/10.31241/FNS.2023.20.072>.
8. Мартынов Е. В. Математические методы моделирования параметров геологических процессов и явлений: Учебное пособие для направления 130100 «Геология и разведка полезных ископаемых». Мурманск. Изд-во: МГТУ, 2008. 136 с.
9. Предовский А. А., Мележик В. А., Болотов В. И., Федотов Ж. А., Басалаев А. А., Козлов Н. Е., Иванов А. А., Жангуров А. А., Скуфьин П. К., Любцов В. В. Вулканизм и седиментогенез докембрия северо-востока Балтийского щита. Л. Изд-во: Наука, 1987. 185 с.
10. Радченко А. Т., Балаганский В. В., Басалаев А. А., Беляев О. А., Пожиленко В. И., Радченко М. К. Объяснительная записка к геологической карте северо-восточной части Балтийского щита масштаба 1:500000. Апатиты. Изд-во: КНЦ РАН. 1994. 95 с.
11. Ремизова А. М., Семушина Н. А., Плотникова И. А. Объяснительная записка к геологической карте Мурманской области. Масштаб 1:200 000. Листы Q-37-I, II. Краснощелье / Ред. А. М. Ремизова // Отчёт о составлении обновлённой цифровой геологической карты Мурманской области масштаба 1:200 000. Кн. 18. Апатиты. 2007. 117 с.
12. Сорохтин Н. О., Козлов Н. Е., Глазнев В. Н., Кудряшов Н. М. Архей Балтийского щита. Изд-во: КНЦ РАН, 2024. 714 с.