

УДК 551 + 552.4 (234.74)

Н.Е. Козлов, Е.В. Мартынов, Н.О. Сорохтин, Т.С. Марчук

Эволюция вещественного состава метабазитов раннего докембрия Кольского региона

N.E. Kozlov, E.V. Martynov, N.O. Sorokhtin, T.S. Marchuk

Evolution of the material composition of the Early Precambrian metabasites of the Kola region

Аннотация. В статье рассматривается эволюция состава раннедокембрийских основных пород Кольского региона. Данное исследование невозможно без ранжирования объектов по времени формирования их протолитов. Для этой цели был разработан метод поиска тренда отличий групп пород в заданных рядах совокупностей. Его использование позволило установить новые закономерности эволюции вещества раннедокембрийских комплексов Кольского региона, проявленные в цикличности изменения состава пород в ходе геологического времени.

Abstract. The paper describes evolution of the Precambrian mafic rocks of the Kola region. This study is not possible without ranking of objects according to age of their protoliths' formation. For this purpose the method of search of trend differences of rocks groups in the specified number of sets has been developed. Its use has revealed new regularities of evolution of substance of the Kola region Precambrian complexes, manifested in the cyclical changes in the rock composition in the course of geological time.

Ключевые слова: эволюция состава, основные породы, докембрий, поиск тренда отличий

Key words: evolution of the composition, basic rocks, Precambrian, search of trend differences

1. Существо проблемы

Проблема дометаморфической эволюции метавулканитов раннего докембрия Кольского региона достаточно длительное время привлекает внимание исследователей. Если для изучения палеопротерозойских структур в силу хорошей сохранности первичных черт слагающих их метаморфитов применяются, как правило, традиционные методы, то для комплексов архея, где преобразования породных ассоциаций были более существенными, авторы вынуждены искать специальные подходы. При использовании геолого-структурных, изотопно-геохимических методов, часто с учетом геофизических данных о глубинном строении региона, появляется возможность наметить этапы формирования супракрустальных толщ в раннем докембрии региона (*Балаганский, 2002; Глубинное строение..., 2010; Минц и др., 1996; Митрофанов, 2001; Митрофанов, Баянова, 2004; Пожиленко и др., 2002* и др.).

Следует отметить, что даже в ходе анализа результатов геохронологических исследований возникает некоторая неоднозначность в интерпретации полученных датировок. Так, возраст метагаббро массива Патчемварек (*Кудряшов и др., 1999*) – 2935 ± 0.006 млрд лет – трактуется как время начала формирования зеленокаменного пояса Колмозеро-Воронья (*Митрофанов, Баянова, 2004*) или как возраст "наиболее сохраненных фрагментов древнего протолита догранулитовых и догранитных ассоциаций Мурманского микроконтинента" (*Глубинное строение..., 2010*). Другим примером может служить дискуссия о времени формирования протолитов основных пород Лапландского гранулитового пояса. Ряд авторов (*Балаганский, 2002; Глубинное строение..., 2010*) полагают, что они имеют палеопротерозойский возраст, в то время как другие ученые (*Козлов, 1995; Вревский и др., 2000*) приводят аргументы в пользу архея. Некоторые сторонники первой из приведенных выше точек зрения принимают палеопротерозойский возраст протолитов пояса с оговоркой, что для мафических гранулитов он должен превышать время формирования палеопротерозойских габбро-анортозитовых массивов (*Глубинное строение..., 2010*).

Получение новых данных не исключает разнообразия трактовок при их интерпретации применительно к геологическим моделям. Таким образом, методологические подходы к построению возрастной шкалы для структур региона и согласованию с этой шкалой данных по отдельным доменам и слагающим их комплексам требуют совершенствования. В то же время невозможно исследовать эволюцию вулканизма без ранжирования изучаемых объектов по времени формирования протолитов пород. Понимая, что при решении данного вопроса будущее, без сомнения, принадлежит геохронологии, авторы настоящей работы полагают, что определенную роль здесь могут играть и петрогеохимические

методы, позволяющие выявлять тренды изменения состава пород и их ассоциаций во времени, как это было неоднократно показано ранее (Козлов, 1995; Козлов и др., 1999; 2006; 2010). Важно и то, что они одновременно позволяют описывать тенденции изменения состава породных ассоциаций во времени с использованием количественных показателей.

В этой связи следует также подчеркнуть, что при достаточно большом разнообразии моделей дометаморфической эволюции раннего докембрия региона данные о составе пород, слагающих его архейские и палеопротерозойские комплексы, использовались крайне редко. Такой обобщающей сводкой, объединившей материалы по геологии региона со сведениями о составе слагающих его комплексов, является публикация А.А. Предовского с соавторами (*Вулканизм и седиментогенез...*, 1987). В рамках этого направления проведены настоящие исследования, позволившие на базе более обширного петрохимического материала, мало используемого в последнее время, и новых методов его обработки проанализировать некоторые черты эволюции состава метабазитов раннего докембрия региона.

2. Объекты и методы исследования, постановка задачи

Авторы придерживались выбранного ранее методологического подхода, заключающегося в сравнении однотипных по петрогеохимической номенклатуре образований. Для изучения были выбраны породы основного состава, метаморфизованные аналоги которых распознаются наиболее надежно и достаточно широко распространены в пределах большинства раннедокембрийских комплексов. Состав этих пород изучался во всех доступных авторам структурах архея и палеопротерозоя Кольского региона (рис. 1). Кроме того, в процессе исследования учитывалась возможная генетическая связь пород Кольского региона с архейскими образованиями Карелии, Канады и Гренландии (Bridgwater et al., 1992; Gorbatshev, Bogdanova, 1993; Зозуля, Баянова, 2007) и для некоторых сопоставлений использовались данные о составе основных пород этих регионов. Всего в работе было выполнено более 2 100 полных силикатных анализов.

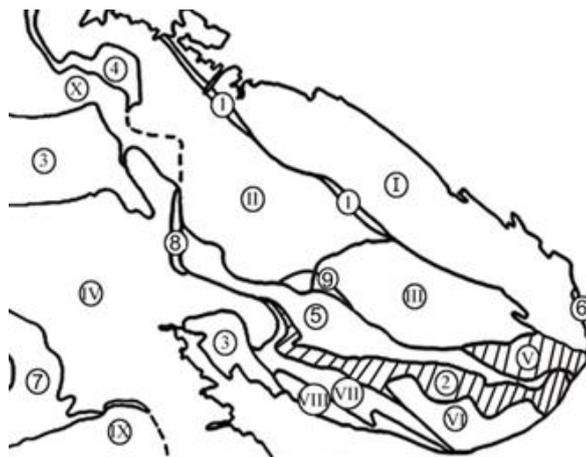


Рис. 1. Схема расположения раннедокембрийских геоструктурных элементов земной коры северо-восточной части Балтийского щита (Козлов и др., 2006), исследованных в настоящей работе. Домены коры: Мурманский (I), Кольско-Норвежский (II), Кейвский (III), Беломорский подвижный пояс (IV), Восточно-Кольский (V), Чапомский (VI), Терский (VII), Умбинский (VIII), Лотгинский (IX). Пояса архейские: Титовско-Колмозерский (1); Сергозерско-Стрельнинский (2), возможно, Лапландско-Колвицкий (3); палеопротерозойские: Печенгский (4), Имандра-Варзугский (5), Устьпонойский (6); Пана-Куолаярви (7). Основные-ультраосновные массивы палеопротерозоя: Мончеплутон (8), Федорово-Панские тундры (9). Заштрихованы структуры, которые не исследовались в связи с недостаточностью материалов

Для нахождения тенденций в изменении вещественного состава пород при переходе от одной группы к другой был применен метод поиска тренда отличий в заданных рядах совокупностей при введенном исследователем отношении частичного порядка (рис. 2). Сущность этого метода состоит в следующем. Пусть $Z = \{Z_i\}$ – множество n -мерных случайных величин $Z = \{Z_i\}$ и на множестве Z^*Z задано отношение частичного порядка " $<$ ". Если c – n -мерный вектор единичной длины, то скалярное произведение (c, Z_i) является одномерной случайной величиной. Эту случайную величину можно охарактеризовать ее математическим ожиданием $M\{(c, Z_i)\}$. Для сравнения математических ожиданий использовался ранговый статистический критерий Пури – Сена – Тамуры о равенстве средних. В этих

целях необходимо произвести оценку средних (в качестве этой оценки выбирается медиана $Me\{(c, Z_i)\}$) и вычислить статистику Пури – Сена – Тамуры $\Lambda((c, Z_i), (c, Z_j))$.

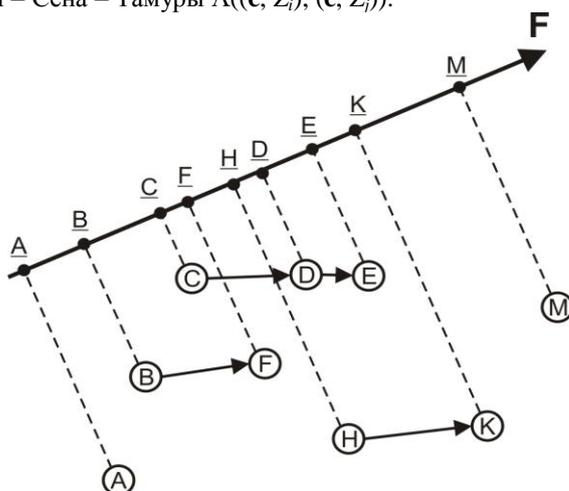


Рис. 2. Пример представления отношения частичного порядка в виде графа: B предшествует (\rightarrow) F ; $C \rightarrow D$; $D \rightarrow E$; $H \rightarrow K$. Положение A и M , а также B и F относительно C , D и E , а также H и K на оси фактора F изначально не задается

Статистическое моделирование характеристики, множество значений которой задано отношением " $<$ ", заключается в поиске такого n -мерного вектора c единичной длины, для которого при выбранном уровне значимости δ выполняются условия: $Me\{(c, Z_i)\} < Me\{(c, Z_j)\}$ и $\Lambda((c, Z_i), (c, Z_j)) > \chi^2(\delta)$ (здесь $\chi^2(\delta)$ – значение квантили χ^2 -распределения с одной степенью свободы при выбранном уровне значимости δ для всех пар $\langle Z_i, Z_j \rangle$, таких, что $Z_i < Z_j$). Выбор указанного статистического критерия определяется его устойчивостью относительно нарушения условия нормальности (и даже унимодальности) распределений случайных величин, а также относительно наличия в выборках аномальных наблюдений. Эти нарушения (и наличие аномальных наблюдений) характерны для реальных выборок.

Содержательно задача моделирования сводится к аппроксимации отношения частичного порядка линейной функцией $P: Z \rightarrow R$, связанной с параметрами химического состава образований в виде $P(Z_i) = M\{(c, Z_i)\}$. Качество аппроксимации оценивается значением функционала:

$$J(P) = \min_U \Lambda((c, Z_i), (c, Z_j)),$$

где $U = \{(Z_i, Z_j) | Z_i < Z_j\}$.

Вектор c , который будем называть фактором частичного порядка, характеризует общую направленность (тренд) изменчивости химических составов относительно частичного порядка.

Для поиска возможного тренда изменения состава архейских пород от более молодых к более древним были сформулированы условия, определенные исходя из геологической ситуации:

1. Титовско-Колмозерский пояс является более молодым по отношению к Мурманскому и Кольско-Норвежскому доменам, поскольку его породные ассоциации на дометаморфическом этапе формировались в результате взаимодействия последних на границе между ними (*Глубинное строение...*, 2010).

2. Лапландский гранулитовой пояс является более молодым по отношению к Лоттинскому домену и Беломорскому подвижному поясу, в результате взаимодействия которых и происходило его заложение как вулканогенно-осадочного комплекса (*Козлов, 1995*).

3. Породы древнейших комплексов Карелии, Канады и Гренландии, исходя из имеющихся датировок (*Пухтель и др., 1991* и др.), сформированы (в сравнении с архейскими метаморфитами Кольского региона) на более раннем этапе развития Земли.

Была сформулирована задача (далее – задача 1) – попытаться найти фактор, характеризующий тренд изменения состава метабазитов, при котором одновременно выполняются сформулированные выше условия, причем отличия пород для каждой из частных задач должны быть значимыми при 5%-м уровне значимости. Такой фактор был найден. Он отражает уменьшение во времени совокупного влияния TiO_2 , Na_2O и K_2O ; слабое изменение MgO ; возрастание SiO_2 , Al_2O_3 , суммы Fe , MnO и CaO , (табл. 1).

Таблица 1. Нагрузки факторов отличия докембрийских комплексов

Окисел	F_1	F_2	F_3
SiO ₂	0.34	-0.38	-0.26
TiO ₂	-0.46	-0.46	-0.03
Al ₂ O ₃	0.25	0.07	0.03
∑Fe	0.19	-0.07	0.46
MnO	0.19	0.06	0.09
MgO	-0.07	0.16	0.34
CaO	0.38	-0.30	0.25
Na ₂ O	-0.24	0.65	-0.70
K ₂ O	-0.57	0.30	-0.18

Примечание. В таблице приняты обозначения: F_1 – фактор отличия основных пород архея в случае одновременного выполнения всех условий, приведенных в тексте; F_2 – фактор отличия метабазитов Титовско-Колмозерского пояса от основных пород нижней и средней частей разреза палеопротерозойских структур; F_3 – фактор отличия средних и верхних уровней разрезов палеопротерозойских структур. Жирным шрифтом выделены параметры, которые меняют знак при переходе от архея к палеопротерозою.

Следует отметить, что неоднозначность трактовки возраста протолита Лапландского гранулитового пояса не меняет сути второго условия, поскольку оно выполняется и при архейском, и при протерозойском времени заложения данной структуры.

Для формулировки условий поиска трендов в палеопротерозое была принята схема корреляции, предложенная А.А. Предовским и В.А. Мележиком (*Вулканизм и седиментогенез...*, 1987), в рамках которой породы поясов Имандра-Вазгугского, Печенгского и Пана-Куоляярви были разделены на три группы: породы нижнего карелия (группа П₁); метаморфиты среднего карелия (группа П₂); образования верхнего карелия (калевия) (группа П₃).

В группу П₁ были включены породы пурначской, кукшинской и сейдореченской свит Имандра-Варзугского пояса. В группу П₂ объединены образования умбинской, полисарской и низов ильмозерской свит Имандра-Варзугского пояса, маярвинской, пирттиярвинской и заполяринской свит Печенгского пояса, а также ниваярвинской свиты пояса Пана-Куоляярви. К группе П₃ в Имандра-Варзугском поясе относятся метаморфиты ильмозерской (большая часть) и томингской свит, в Печенгском поясе – породы матертской свиты и южнопеченгской серии, а в поясе Пана-Куоляярви – свит хосиярви, мянтюваара и соварви.

С учетом того что в работе исследовалась проблема эволюции магматизма, связанного с мантийными источниками, авторы сочли возможным дополнить информацию по метавулканитам данными по интрузивным образованиям, включив в процесс сопоставления сведения о составе основных пород Мончеплутона и Федорово-Панских тундр, возраст которых, а также их геологическое положение на границе архея и протерозоя и соотношение с вмещающими породами Имандра-Варзугского пояса достаточно подробно охарактеризованы (*Расслоенные интрузии...*, 2004).

Для поиска возможного тренда изменения состава пород от архея к палеопротерозою и далее к средним частям разреза палеопротерозойских структур (задача 2) было сформулировано условие: архейские метабазиты зоны Титовско-Колмозерского пояса (выбраны как одни из более поздних архейских комплексов, для которых принадлежность в данному эону не вызывает сомнений) являются более древними породами по сравнению с породами основного состава Мончеплутона и массива Федорово-Панских тундр (2507 млн лет) (*Баянова*, 2004), а те, в свою очередь, – более древними в сравнении с основными метавулканитами группы П₁ (по крайней мере, породами кукшинской и сейдореченской свит, составляющими подавляющее количество анализов в выборке) (*Расслоенные интрузии...*, 2004). Наиболее поздние в этом ряду породы относятся к группе П₂. Заметим, что метаморфиты палеопротерозоя сопоставлялись не со всеми комплексами архея, поскольку можно было ожидать (это подтвердили последующие исследования), что тенденции изменения их состава в пределах архейского и палеопротерозойского этапов развития имели различную направленность. Найденный фактор изменения состава пород от архея к палеопротерозою характеризуется уменьшением во времени совокупного влияния SiO₂, TiO₂, CaO, слабым изменением Al₂O₃, суммы Fe, MnO, MgO и возрастанием Na₂O и K₂O (табл. 1).

Условием задачи 3 был поиск фактора, отражающего эволюцию вещественного состава пород на завершающих этапах развития палеопротерозойских структур (от группы П₂ к группе П₃). Он, как

показал результат исследований, сходен в общих чертах с фактором, полученным для архея, и отражает уменьшение во времени совокупного влияния SiO_2 , Na_2O и K_2O , слабое изменение TiO_2 , Al_2O_3 , MnO и возрастание суммы Fe , MgO и CaO (табл. 1).

3. Обсуждение результатов

Факторы F_2 и F_3 , исходя из поставленных условий, базирующихся на многочисленных геолого-геохронологических данных, достаточно определенно отражают эволюцию вещества во времени. Для архея такая интерпретация, если рассматривать всю совокупность данных, несколько условна. Тем не менее положение на оси фактора F_1 комплексов архея с определенной долей вероятности также можно считать относительным ранжированием исследованных структур по предполагаемому времени формирования протолитов слагающих их пород, поскольку поиск этого фактора основывался на информации о составе лишь тех объектов, относительный возраст которых, исходя из геологических данных, устанавливается достаточно определенно. При этом взаимное расположение на оси данного фактора даже тех комплексов, которые перечислены в условиях задачи 1, не задавалось. Следует отметить, что положение на оси фактора F_1 (рис. 3) большинства объектов архея не противоречит последовательности их формирования в ходе развития северо-восточной части Балтийского щита, предложенной на основе комплексного изучения состава пород с учетом данных по геофизике и геохронологии в работе (*Глубинное строение...*, 2010) (табл. 2).

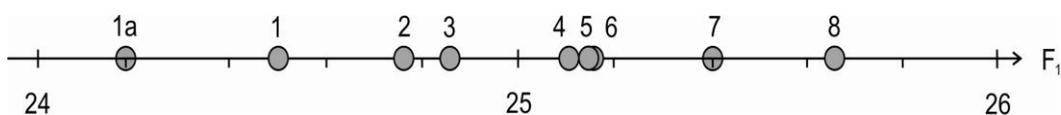


Рис. 3. Положение точек, соответствующих составам архейских метабазитов Кольского региона и образованиям Карелии, Канады, Гренландии, на оси фактора F_1 : 1a – древнейшие образования

Карелии, Канады, Гренландии; 1-6 – домены Кольского региона: Кейвский (1), Лоттинский (аллареченский и нотозерский комплексы) (2), Чапомский, Терский и частично Умбинский (3), Кольско-Норвежский (4), Мурманский (5), Беломорский подвижный пояс (6); 7-8 – архейские пояса Кольского региона: Лапландско-Колвицкий (7), Титовско-Колмозерский (8)

Несоответствие геохронологическим данным отмечается при изучении пород Лапландско-Колвицкого гранулитового пояса, хотя оно выглядит не так уж значительно, если учесть, что сходство состава пород данной структуры с архейскими образованиями региона и их отличие от палеопротерозойских отмечалось и ранее (*Козлов и др.*, 2010). Если к этому добавить основанные на данных по геологии, геофизике и метаморфизму представления *М.В. Минца* с соавторами (1996) и базирующиеся на данных о распределении редкоземельных элементов выводы *А.Б. Вревского* с соавторами (2000) о возможном архейском возрасте протолитов основных пород пояса, такое положение пород этой структуры на оси фактора F_1 (т. н. "временного" фактора) вполне допустимо. Более того, в случае принятия модели формирования метавулканитов Лапландско-Колвицкого гранулитового пояса на этапе взаимодействия Беломорской подвижной зоны и Кольского микроконтинента (*Козлов*, 1995) время их формирования укладывается в интервал 2.89-2.80 млрд лет, что соответствует времени субдукции пород Беломорского аккреционно-коллизийного орогена под окраину Кольского континента (*Глубинное строение...*, 2010).

Не вполне объяснимо также положение на оси фактора F_1 Кейвской структуры, которая максимально близка по составу слагающих ее основных метавулканитов к древнейшим образованиям Карелии, Канады и Гренландии. Для объяснения этого факта имеющихся материалов недостаточно.

В целом при анализе нагрузок вычисленных факторов достаточно определенно просматривается цикличность эволюции вещества в раннем докембрии региона, т. е. сходство тенденций в верхних частях архея и протерозоя (факторы F_1 и F_3) и резкое их изменение на отрезке времени от границы архея и палеопротерозоя до границы среднего и нижнего карелия (табл. 1). Более отчетливо данная цикличность прослеживается при анализе изменения суммы $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ в зависимости от величины отношения $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ (рис. 4, соотношение отношения и суммы щелочей). По мере перехода от более ранних к более поздним комплексам архея (согласно их положению на оси фактора F_1) наблюдается четкая тенденция к снижению содержания щелочных элементов (что зафиксировано и при анализе фактора F_1) и закономерному росту отношения $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$. Эта тенденция отмечается вплоть до формирования интрузий Мончеплутона и Федорово-Панских тундр.

Таблица 2. Соотношение данных о положении архейских комплексов Кольского региона, Карелии, Канады, Гренландии на оси "временного" фактора F_1 со сведениями о возможном возрасте формирования их протолитов

Номер группы на оси фактора F_1 (см. рис. 3)	Значимость отличия групп по фактору F_1	Время формирования исследованных структур, по данным работы (Глубинное строение..., 2010), с некоторыми дополнениями
1a	1a-1 – зн.	Водлозерский микроконтинент – 3.24-3.15 млрд лет
1	1-2 – зн.	Время проявления вулканизма Кейвской вулcano-тектонической депрессии может составлять около 2.9-2.8 млрд лет
2	2-3 – нз 2-4 – зн.	Возраст вулканизма не обсуждается; фиксируются включения древних тоналитов (3.1-2.9 млрд лет). По данным исследований В.В. Балаганского (2002), составной террейн Инари – гранитогнейсы и супракрустальные толщи (2.6-2.9 млрд лет) с тектоническими пластинами более молодых образований (1.9-2.0 млрд лет)
3	3-4 – зн.	Возраст вулканизма не обсуждается; фиксируются включения древних тоналитов (3.1-2.9 млрд лет). По данным исследований В.В. Балаганского (2002), Терский террейн и Стрельнинский блок слагают гранитогнейсы и супракрустальные толщи (2.6-2.9 млрд лет) с тектоническими пластинами более молодых образований (1.9-2.0 млрд лет)
4	4-5 – нз 4-6 – нз	Кольский микроконтинент, предположительный возраст вулканизма 2.91-2.83 млрд лет
5	5-6 – нз	Мурманский микроконтинент, возраст ингузий мафитовых магм 2.93-2.8 млрд лет
6	6-7 – зн.	Возраст океанической коры на месте Беломорского аккреционно-коллизийного орогена (Беломорского подвижного пояса) – 2.89 млрд лет (возможно, она формировалась начиная с 2.95-2.94 млрд лет)
7	7-8 – зн.	Основные породы включены в состав зоны тектонического меланжа, размещенного между Лапландским гранулитовым поясом и Беломорским поясом, т. н. Тана-пояс. Не исключается, что часть пород имеет возраст более 2.51 млрд лет
8	–	Пояс Колмозеро-Воронья, возраст вулканизма 2.87-2.83 млрд лет

Примечание. В таблице приняты сокращения: зн. – значимые отличия; нз – незначимые отличия; выбранный уровень значимости равен 0.05.

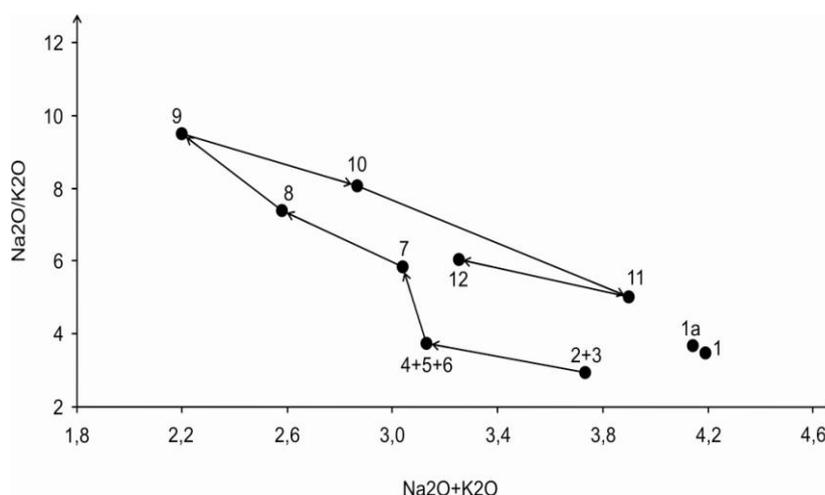


Рис. 4. Тенденции изменения содержания и соотношения Na_2O и K_2O (в вес.%) в ходе геологического времени в метабазитах раннего докембрия Кольского региона в сравнении с образованиями Карелии, Канады, Гренландии: 1a – древнейшие образования Карелии, Канады, Гренландии; 1-6 – домены Кольского региона: Кейвский (1), Лоттинский (аллареченский и нотозерский комплексы) (2), Чапомский, Терский и частично Умбинский (3), Кольско-Норвежский (4), Мурманский (5), Беломорский подвижный пояс (6); 7-8 – архейские пояса Кольского региона: Лапландско-Колвицкий (7), Титовско-Колмозерский (8); 9 – массивы Мончеплутона и Федорово-Панских тундры; 10-12 – палеопротерозойские пояса Печенгский, Имандра-Варзугский и Пана-Куоляarvi, группы Π_1 (10), Π_2 (11) и Π_3 (12)

Возрастание калий-натрового отношения может свидетельствовать о последовательном углублении очагов генерации базитовых магм; данный процесс (касательно расплавов внутриплитного океанического магматизма) описан Л.Н. Козарко с соавторами (2002). В этом случае вполне объяснимо возрастание в архее указанного параметра от пород группы 3 к породам группы 9 (рис. 4), что связано, возможно, с последовательным увеличением в ходе геологического времени глубины залегания очагов магмагенерации по мере формирования земной коры и роста ее мощности. Этим же объясняется тот факт, что новый, палеопротерозойский "виток" в тенденциях, отображенных на рис. 4, также смещен относительно тенденций в архейских образованиях, в сторону больших значений отношения $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$.

В точке, соответствующей составу платиноносных интрузивов Кольского региона, наблюдается "перелом" тенденции, после чего она приобретает противоположную направленность. Далее идет снижение величины отношения $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ и суммы щелочей до группы P_2 , где тенденция вновь приобретает направленность, сходную с тенденцией, установленной для образований архея (данная цикличность описана выше и касательно величин факторов F_1 , F_2 и F_3). Отсутствие среди докембрийских пород более молодых в сравнении с породами P_3 образований не позволяет сделать вывод о дальнейшей направленности данной тенденции, но, исходя из наличия в палеозойских интрузивах основных пород с крайне высокими значениями суммы щелочей при низких значениях отношения $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$, можно предположить в точке P_3 очередной ее "перелом". Данные "переломы" направленности тенденций совпадают с периодами магматической активизации, описанными для Печенгской структуры: первый – с постлопийской, второй – со сфекофенской активизацией и поднятием плюмов (Смолькин, 1992).

Поскольку в породах группы P_3 в Печенгском поясе отмечаются концентрации сульфидных руд, просматривается закономерность появления крупных концентраций металлов, связанных с основными и ультраосновными расплавами, в точках, фиксирующих резкое изменение соотношения суммы щелочей и отношения $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$, что определялось, вероятно, резким изменением глубин формирования источников магмы в регионе, достигавших максимальных значений в областях магмогенерации сульфидно-платинометалльных и сульфидсодержащих магм с платиноидами. Следует отметить, что основные по составу породы платиноносных интрузивов Мончеплутона и Федорово-Панских тундр характеризуются в рядах, построенных по предполагаемому возрасту протолитов, а также аномальными значениями содержания TiO_2 , Na_2O , MgO и ΣFe (рис. 5).

Отметим, что метабазиты Кейвского домена по содержанию отдельных элементов занимают особое положение среди прочих архейских образований региона и в целом более близки к древнейшим комплексам Карелии, Канады и Гренландии (рис. 3-5). Причины возникновения таких особенностей метабазитов должны стать предметом специального исследования. Характеристики состава метабазитов Лапландско-Колвицкого гранулитового пояса и их положение на различных трендах (рис. 3, 4) также свидетельствуют о близости к комплексам архея, чему должны искать объяснение сторонники гипотезы о палеопротерозойском времени его заложения.

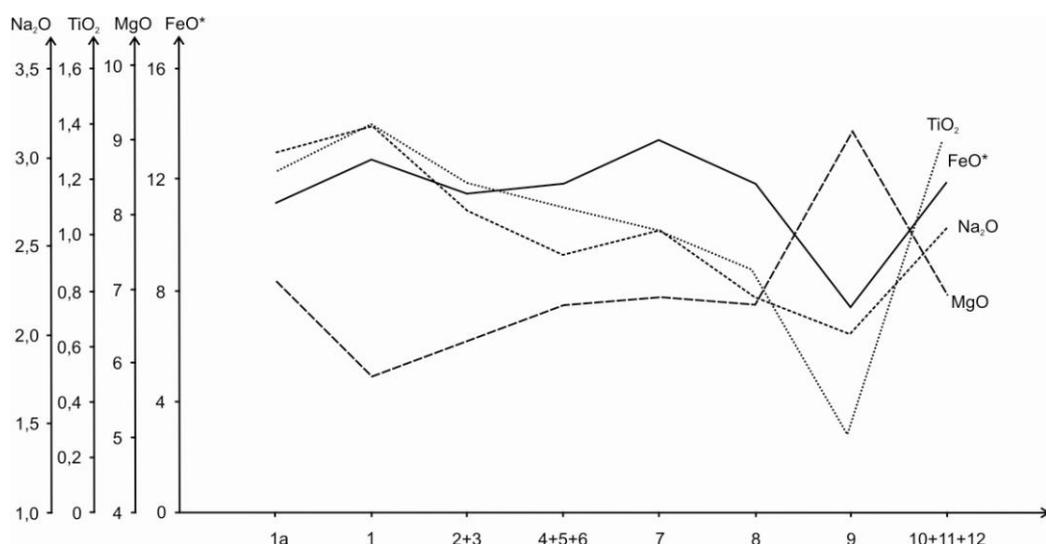


Рис. 5. Тенденции изменения содержания TiO_2 , Na_2O , MgO и ΣFe (в вес.%) в ходе геологического времени в метабазитах раннего докембрия Кольского региона в сравнении с образованиями Карелии, Канады, Гренландии. Цифры на рисунке соответствуют цифрам, указанным на рис. 4

4. Выводы

Использование метода поиска тренда отличий в заданных рядах совокупностей и определения относительного времени формирования протолитов различных породных ассоциаций позволило выявить новые закономерности эволюции во времени вещества раннедокембрийских комплексов Кольского региона и установить цикличность изменения состава пород. При этом на "переломах" выявленных тенденций изменения различных характеристик находятся точки, соответствующие составам комплексов, в которых наблюдается медно-никелевое и платинометальное оруденение.

Сходство особенностей вещественного состава основных пород Лапландско-Кольского гранулитового пояса и архейских структур Кольского региона (в отличие от палеопротерозойских образований) свидетельствует об их близости к комплексам архея.

Литература

- Bridgwater D., Marker M., Mengel F.** The eastern extension of Early Proterozoic Torngat Orogenic Zone across the Atlantic. *Lithoprobe*, Report N 27, p. 76-91, 1992.
- Gorbatshev R., Bogdanova S.** Frontiers in the Baltic Shield. *Precambrian Research*, v. 64, N 1-4, p. 3-21, 1993.
- Балаганский В.В.** Тектоностратиграфический террейн-анализ как основа для тектонического районирования. В кн.: *Геология и полезные ископаемые Кольского полуострова. Том 1. Геология, геохронология, геодинамика. Апатиты, КНЦ РАН*, с. 44-56, 2002.
- Баянова Т.Б.** Возраст геологических комплексов Кольского региона и длительность процессов магматизма. *СПб., Наука*, 172 с., 2004.
- Вревский А.Б., Другова Г.М. и др.** К геохимии редкоземельных элементов в Лапландском гранулитовом комплексе (Балтийский щит). *Вестник МГТУ*, т. 3, № 2, с. 315-324, 2000.
- Вулканизм и седиментогенез докембрия северо-востока Балтийского щита. *Отв. редактор А.А. Предовский. Л., Наука, Ленингр. отд-ние*, 185 с., 1987.
- Глубинное строение, эволюция и полезные ископаемые раннедокембрийского фундамента Восточно-Европейской платформы: Интерпретация материалов по опорному профилю 1-ЕВ, профилям 4В и ТАТСЕЙС. В 2 т. М., *ГЕОКАРТ, ГЕОС*, 2010.
- Зозуля Д.Р., Баянова Т.Б.** Признаки обогащенной мантии в архейских карбонатитах и щелочных породах Балтийского и Гренландского щитов. В сб.: *Щелочной магматизм Земли и его рудоносность. Мат. докладов междуна. (стран СНГ) совещания, Киев*, с. 90-93, 2007.
- Когарко Л.Н., Асавин А.М., Ряховский В.М.** Сдвиг калий-натрового отношения в первичных щелочных расплавах внутриплитного океанического магматизма. *Труды науч. школы "Щелочной магматизм Земли" Всеросс. семинара с участием стран СНГ "Геохимия щелочных пород"*, с. 49-50, 2002.
- Козлов Н.Е.** Вещественный состав метаморфических комплексов высокобарных гранулитовых поясов и проблема формирования их протолитов (на примере лапландских гранулитов). *Автореф. дис. ... д-ра геол.-мин. наук, СПб.*, 36 с., 1995.
- Козлов Н.Е., Мартынов Е.В., Иванов А.А.** Черты петрогеохимических различий основных пород энсиалических и энсиматических комплексов (сравнительный анализ фанерозоя и докембрия). *Геохимия*, № 6, с. 582-588, 1999.
- Козлов Н.Е., Сорохтин Н.О., Глазнев В.Н. и др.** Геология архея Балтийского щита. *СПб., Наука*, 329 с., 2006.
- Козлов Н.Е., Сорохтин Н.О., Мартынов Е.В., Козлова Н.Е.** Основные породы Лапландского гранулитового пояса и вещественная гетерогенность раннедокембрийской мантии. *Геохимия*, т. 48, № 5, с. 538-543, 2010.
- Кудряшов Н.М., Гавриленко Б.В., Апанасевич Е.А.** Возраст пород архейского зеленокаменного пояса Колмозеро-Воронья: новые U-Pb данные. *Мат. конф. "Геология и полезные ископаемые северо-запада и центра России". Апатиты, КНЦ РАН*, с. 66-70, 1999.
- Минц М.В., Глазнев В.Н., Конилов А.Н. и др.** Ранний докембрий северо-востока Балтийского щита: палеогеодинамика, строение и эволюция континентальной коры. М., *Научный мир*, 287 с., 1996.
- Митрофанов Ф.П.** Современные проблемы и некоторые решения докембрийской геологии кратонов. *Литосфера*, № 1, с. 5-14, 2001.
- Митрофанов Ф.П., Баянова Т.Б.** Геохронология пород и процессов в архейских доменах Кольской провинции Балтийского щита. *Минералогический журнал*, т. 26, № 3, с. 33-39, 2004.
- Пожиленко В.И., Гавриленко Б.В., Жиров Д.В., Жабин С.В.** Геология рудных районов Мурманской области. *Апатиты, КНЦ РАН*, 359 с., 2002.

- Пухтель И.С., Журавлев Д.З., Куликова В.В.** Коматииты Водлозерского бока (Балтийский щит). *ДАН СССР*, т. 317, № 1, с. 197-202, 1991.
- Расслоенные интрузии Мончегорского рудного района: петрология, оруденение, изотопия, глубинное строение. Ред. Ф.П. Митрофанов, В.Ф. Смолькин. Ч. 1, *Апатиты, КНЦ РАН*, 177 с., 2004.
- Смолькин В.Ф.** Коматиитовый и пикритовый магматизм раннего докембрия Балтийского щита. *СПб., Наука*, 272 с., 1992.

References

- Bridgwater D., Marker M., Mengel F.** The eastern extension of Early Proterozoic Tornat Orogenic Zone across the Atlantic. *Lithoprobe, Report N 27*, p. 76-91, 1992.
- Gorbatshev R., Bogdanova S.** *Frontiers in the Baltic Shield. Precambrian Research*, v. 64, N 1-4, p. 3-21, 1993.
- Balaganskiy V.V.** Tektonostratigraficheskiy terrey-nanaliz kak osnova dlya tektonicheskogo rayonirovaniya [Tectonic-stratigraphic terrane analysis as a basis for tectonic zonation]. V kn.: *Geologiya i poleznyie iskopaemye Kolskogo poluostrova. Tom 1. Geologiya, geohronologiya, geodinamika. Apatityi, KNTs RAN*, p. 44-56, 2002.
- Bayanova T.B.** *Vozrast geologicheskikh kompleksov Kolskogo regiona i dlitelnost protsessov magmatizma* [Age of geological complexes of the Kola region and duration of magmatic processes]. *SPb., Nauka*, 172 p., 2004.
- Vrevskiy A.B., Drugova G.M. i dr.** K geohimii redkozemelnykh elementov v Laplandskom granulitovom komplekse (Baltiyskiy shchit) [To geochemistry of rare earth elements in the Lapland granulite complex (the Baltic Shield)]. *Vestnik MGTU*, t. 3, N 2, p. 315-324, 2000.
- Vulkanizm i sedimentogenez dokembriya severo-vostoka Baltiyskogo schita* [Volcanism and sedimentation of the Precambrian of north-east of the Baltic Shield]. *Otv. red. A.A. Predovskiy. L., Nauka, Leningr. otdnie*, 185 p., 1987.
- Glubinnoe stroenie, evolyutsiya i poleznyie iskopaemye rannedokembriyskogo fundamenta Vostochno-Evropeyskoy platformy: Interpretatsiya materialov po opornomu profilyu 1-EV, profilyam 4V i TATSEYS* [Deep structure, evolution and minerals of the early Precambrian basement of the East European platform: Interpretation of materials according to profile 1-EB, profiles 4B and TATSEIS]. V 2 t. M., *GEOKART, GEOS*, 2010.
- Zozulya D.R., Bayanova T.B.** *Priznaki obogaschennoy mantii v arheyskikh karbonatitah i shelochnykh porodah Baltiyskogo i Grenlandskogo shchitov* [Signs of enriched mantle in Archean carbonatites and alkaline rocks of the Baltic and Greenland shields]. V sb.: *Schelochnoy magmatizm Zemli i ego rudonosnost. Mat. doklady mezhdu. (stran SNG) soveschaniya, Kiev*, p. 90-93, 2007.
- Kogarko L.N., Asavin A.M., Ryahovskiy V.M.** *Sdviig kaliy-natrovogo otnosheniya v pervichnykh shelochnykh rasplavah vnutriplitnogo okeanicheskogo magmatizma* [Shift of potassium-sodium ratio in primary alkaline melts of intraplate oceanic magmatism]. *Trudy nauch. shkoly "Schelochnoy magmatizm Zemli" Vseross. seminar s uchastiem stran SNG "Geohimiya shelochnykh porod"*, p. 49-50, 2002.
- Kozlov N.E.** *Veschestvennyy sostav metamorficheskikh kompleksov vyisokobarnykh granulitovykh poyasov i problema formirovaniya ih protolitov (na primere laplandskikh granulitov)* [Material composition of metamorphic complexes of high-pressure granulite belts and the problem of their protoliths formation (on the example of Lapland granulites)]. *Avtoref. dis. ... dokt.geol.-min. nauk, SPb.*, 36 p., 1995.
- Kozlov N.E., Martynov E.V., Ivanov A.A.** *Cherty petrogeohimicheskikh razlichykh osnovnykh porod ensialicheskikh i ensimaticeskikh kompleksov (sravnitelnyy analiz fanerozoia i dokembriya)* [Features of petrogeochemical differences of basic rocks of ensialic and ensimatic complexes (comparative analysis of the Phanerozoic and Precambrian)]. *Geohimiya*, N 6, p. 582-588, 1999.
- Kozlov N.E., Sorohtin N.O., Glaznev V.N. i dr.** *Geologiya arheya Baltiyskogo shchita* [Geology of Archaean of the Baltic Shield]. *SPb., Nauka*, 329 p., 2006.
- Kozlov N.E., Sorohtin N.O., Martynov E.V., Kozlova N.E.** *Osnovnyie porodiy Laplandskogo granulitovogo poyasa i veschestvennaya geterogenost rannedokembriyskoy mantii* [The main rocks of the Lapland granulite belt and material heterogeneity of the Early Precambrian mantle]. *Geohimiya*, t. 48, N 5, p. 538-543, 2010.
- Kudryashov N.M., Gavrilenko B.V., Apanasevich E.A.** *Vozrast porod arheyskogo zelenokamennogo poyasa Kolmozero-Voronya: novyye U-Pb dannyye* [The age of the Archean greenstone belt Kolmozero-Voronya: New U-Pb data]. *Mat. konf. "Geologiya i poleznyie iskopaemye severo-zapada i tsentra Rossii"*. *Apatityi, KNTs RAN*, p. 66-70, 1999.

- Mints M.V., Glaznev V.N., Konilov A.N. i dr.** Ranniy dokembriy severo-vostoka Baltiyskogo schita: paleogeodinamika, stroenie i evolyutsiya kontinentalnoy koryi [Early Precambrian of north-east of the Baltic Shield: paleogeodynamics, structure and evolution of the continental crust]. М., Nauchnyy mir, 287 p., 1996.
- Mitrofanov F.P.** Sovremennyye problemy i nekotorye resheniya dokembriyskoy geologii kratonov [Modern problems and some solutions of Precambrian geology of cratons]. Litosfera, N 1, p. 5-14, 2001.
- Mitrofanov F.P., Bayanova T.B.** Geohronologiya porod i protsessov v arheyskikh domenah Kolskoy provintsii Baltiyskogo shchita [Geochronology of rocks and processes in Archean domains of the Kola province of the Baltic Shield]. Mineralogichniy zhurnal, t. 26, N 3, p. 33-39, 2004.
- Pozhilenko V.I., Gavrilenko B.V., Zhirov D.V., Zhabin S.V.** Geologiya rudnykh raionov Murmanskoi oblasti [Geology of ore districts of the Murmansk region] Apatityi, KNTs RAN, 359 p., 2002.
- Puhtel I.S., Zhuravlev D.Z., Kulikova V.V.** Komatiitiy Vodlozerskogo boka (Baltiyskiy shchit) [Komatiites of Vodlozero sides (the Baltic Shield)]. DAN SSSR, t. 317, N 1, p. 197-202, 1991.
- Rassloennyye intruzii Monchegorskogo rudnogo rayona: petrologiya, orudnenie, izotopiya, glubinnoe stroenie [Layered intrusions of the Monchegorsk ore region: Petrology, mineralization, isotopy, deep structure] Red. Mitrofanov F., Smolkin V. Ch. 1, Apatityi, KNTs RAN, 177 p., 2004.
- Smolkin V.F.** Komatiitovyy i pikritovyy magmatizm rannego dokembriya Baltiyskogo shchita [Komatiite and picritic magmatism of the early Precambrian Baltic Shield]. SPb., Nauka, 272 p., 1992.

Информация об авторах

Козлов Николай Евгеньевич – Геологический институт КНЦ РАН, д-р геол.-мин. наук, зав. лабораторией; директор Апатитского филиала МГТУ, кафедра геологии и полезных ископаемых, профессор, e-mail kozlovne@afmgtu.apatity.ru

Kozlov N.E. – Geological Institute KSC RAS, Dr of Geol. & Miner. Sci., Head of Laboratory; Director of MSTU Apatity Branch, Geology and Minerals Department, Professor, e-mail kozlovne@afmgtu.apatity.ru

Мартынов Евгений Васильевич – Геологический институт КНЦ РАН, канд. геол.-мин. наук, ст. науч. сотрудник; Апатитский филиал МГТУ, доцент кафедры геологии и полезных ископаемых, e-mail: martynov@geoksc.apatity.ru

Martynov E.V. – Geological Institute KSC RAS, Cand. of Geol. & Miner. Sci., Senior Researcher; MSTU Apatity Branch, Associate Professor of Geology and Minerals Department

Сорохтин Николай Олегович – Институт океанологии им. П.П. Шишова РАН, д-р геол.-мин. наук, вед. науч. сотрудник; Геологический институт КНЦ РАН; Апатитский филиал МГТУ, кафедра геологии и полезных ископаемых

Sorokhtin N.O. – P.P. Shishov Institute of Oceanology of RAS, Dr of Geol. & Miner. Sci., Leading Researcher; Geological Institute KSC RAS; MSTU Apatity Branch, Geology and Minerals Department

Марчук Татьяна Сергеевна – Геологический институт КНЦ РАН, ст. инженер

Marchuk T.S. – Geological Institute KSC RAS, Senior Engineer