

*Н.Е.Козлов^{1,2}, А.А.Иванов^{1,2}, Е.В.Мартынов^{1,2}, Н.О.Сорохтин^{1,2},
Н.Е.Козлова^{1,2}, Н.М.Кудряшов¹.*

¹ Геологический институт КНЦ РАН

² Апатитский филиал Мурманского государственного технического университета

ЭВОЛЮЦИЯ ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА ДРЕВНЕЙШИХ КОМПЛЕКСОВ КОЛЬСКОГО РЕГИОНА

Введение

Международный геологический конгресс 2000 года в Бразилии признал углубленные исследования древнейших пород Земли одним из приоритетных направлений, поскольку эти образования являются важными носителями информации о земной литосфере, атмосфере, биосфере ранних этапов эволюции Земли и позволяют провести сравнительный анализ нашей планеты с другими телами околосолнечного пространства. Из всего многообразия и своеобразия геодинамических и петрологических проблем раннего докембрия можно выделить такие, в которых научный задел российской геологии наиболее значим. В частности, это решение проблем пространственных и временных соотношений гранулит-гнейсовых и гранит-зеленокаменных структур на кристаллических щитах и связанной с этим сохранностью и переработкой глубинных зон земной коры.

Кольский регион является наиболее удачным в России полигоном для получения разнообразных данных по названной проблеме, поскольку детально изучен комплексом геологических и геофизических методов, в том числе, в рамках международного европейского проекта «Геотрансект-3». Кроме того, архейские домены здесь представлены разнообразными типами, которые по времени формирования являются, возможно, синхронными. И главное - в архейской провинции восточной части Балтийского щита устанавливаются как элементы структурно-вещественной сохранности ее архейских компонентов, так и многочисленные свидетельства их глубокой многократной переработки.

Попытки исследования проблем эволюции вещественного состава и корреляции областей распространения архейских образований Кольского региона между собой, а также с древнейшими комплексами Карельского кратона, Канады, Гренландии в рамках единой модели эволюции континентальной коры делалась неоднократно (Зоненшайн, Кузьмин, 1990; Иванов и др. 1992; Хаин, 2001) и продолжаются по настоящее время. Особая роль здесь принадлежит проблемам металлогении и выявлению причин уникальности Кольского региона в металлогеническом аспекте.

В настоящей работе предпринята попытка сопоставления вещественного состава древнейших архейских комплексов Кольского региона – Мурманского, Кейвского и Кольско-Норвежского (Центрально-Кольский и, Нотозерский блоки, Приимандровская и Аллареченская структуры) доменов и Беломорского подвижного пояса (Центральное и Западное Беломорье), выявление особенностей их эволюции. Кроме того, в ограниченном масштабе проведены более широкие сопоставления с породными ассоциациями некоторых других комплексов региона, а также породными ассоциациями Карелии, Канады, Гренландии, нацеленные в первую очередь на проведение корреляции образований Мурманского домена, как наименее изученного среди архейских образований северо-востока Балтийского щита, с древнейшими породными ассоциациями смежных территорий. Оригинальность методологического подхода авторского коллектива к решению поставленных задач определило принципиальную новизну полученных результатов

Методика исследований

Информационной основой настоящих исследований является имеющаяся в распоряжении авторов совокупность баз данных по вещественному составу образований докембрия и фанерозоя, (около 20000 полных силикатных анализов, частично обеспеченных спектральными определениями малых элементов). Методологической основой является систематизация и сопоставление материалов по геологии и вещественному составу раннедокембрийских комплексов Кольского региона с использованием оригинальных, не имеющих аналогов как в России, так и за рубежом методик распознавания первичной природы метаморфитов, петрогеохимического моделирования параметров геодинамических обстановок и их изменчивости в ходе развития Земли.

Для поиска наиболее сходных объектов был использован метод сопоставления и оценки степени «сходства-отличия» породных ассоциаций, представленных неоднородными совокупностями петрогеохимических параметров, разработанный ранее для моделирования изменчивости химического состава геологических образований в ходе эволюции Земли (Козлов и др., 1999; 2002₁) и поиска гомологов архейских образований Кольской сверхглубокой скважины (Козлов и др., 2002₂). Кроме того, использовался метод поиска тренда отличий в заданных рядах совокупностей (или поиска тренда отличий относительно отношения частичного порядка).

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 $\Lambda((c,Z_i),(c,Z_j))$.

Статистическое моделирование характеристики, множество значений которой задано отношением " $<$ ", заключается в поиске такого n -мерного вектора с 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 для уровня 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 обобщенным показателем $P:Z \rightarrow R$, функционально связанным 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 $U = \{\langle Z_i, Z_j \rangle | Z_i < Z_j\}$.

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

Обсуждение результатов

Анализ работ, посвященных корреляции изученных образований Мурманского домена с архейскими комплексами соседних регионов, указывает на возможность их сопоставления не только с метаморфитами описанных выше комплексов, но также и с породными ассоциациями Северной Карелии, Канады и Гренландии (Сорохтин, Ушаков, 2002; Хаин, 2003; Минц и др., 1996, Bridgewater et al., 1992; Gorbatshev, Bogdanova, 1993). Всего для целей подобного сопоставления в настоящей работе было использовано 4800 полных силикатных анализов, том числе по Канаде и Гренландии – 108, по Северной Карелии – 358, по Беломорью – 927 и по Кольскому полуострову – 3405 (рис.1).

Проведенный сравнительный анализ полученных результатов отражен на рис.2. График распределения коэффициента отличия указывает на петрогеохимическое родство структурно-вещественных комплексов Мурманского домена (точка 1) с характерными породами гранит-зеленокаменных областей Канады, Гренландии и Балтийского щита (точки 2-6). При этом на графике хорошо видно резкое отличие гранит-зеленокаменных областей и Мурманского домена от образований гранулит-гнейсовых областей Кольско-Норвежского домена (точки 11-15). Обращает на себя внимание сходство вещественного состава породных комплексов Мурманского домена в выбранном пространстве эталонов с раннеархейскими образованиями Северо-Атлантического кратона, что позволяет более оптимистично смотреть на возможность определения его более древнего возраста. Отчетливо просматривается также сходство с метаморфитами Ингозерской структуры. Данный факт представляется интересным в связи с тем, что метаморфиты района оз. Ингозеро, слагающие купольную структуру среди беломорских образований, несмотря на отсутствие и для них древнейших датировок, на всех геологических картах относятся к древнейшим для региона образованиям, что отражено в легенде многих геологических карт Кольского полуострова,



Рис. 1. Генерализованная карта Гренландии, северо-востока Канады и Балтийского щита для образований древнее 1.2 млрд. лет (по Д.Бриджвотеру и др., (Bridgewater et al., 1992). 1 (вертикальная штриховка) - Архейские кратоны; 2 (точки) - архейские гнейсы, переработанные в мобильных поясах, 3 (без крапа) - молодые подвижные пояса. Цифры в кружках: - названия комплексов: 1 - Лапландско-Кольский мобильный пояс, 2 - Мурманский домен, 3 - Карельский кратон, 4 - мобильный пояс Nagssugtoqidian, 5 - Северо-Атлантический кратон, 6 - подвижный пояс Makkoivikian-Ketilidian, 7 - каледониды. Точками с цифрами обозначены сравниваемые образования: 1 - Мурманский домен; 2 - западная Гренландия и восточный

Лабрадор; 3-7 – блоковые структуры Карельского кратона: 3 – Вокнаволоцкая; 4 – Тулосская; 5 – Водлозерская; 6 – Северная Финляндия; 7 – Таваярвинская; 8 – Центральное Беломорье; 9 – Терский блок; 10 – Западное Беломорье; 11 – Аллареченская структура; 12 – Нотозерский блок; 13 – Пришмандровская структура; 14 – Центрально-Кольский блок; 15 – Кейвский домен; 16- Ингозерская структура.

К сожалению, пока мы не имеем надежных датировок, подтверждающих этот вывод. Так, геохронологические данные, полученные нами для кислых пород (плагиигранитов и содержащихся в них ксенолитов диоритов, биотитовых гнейсов и амфиболитов) U-Pb методом по циркону, укладываются в интервал $2717 \pm 7 - 2771 \pm 10$ млн. лет. При этом возраст плагиигранитов даже несколько превышает возраст ксенолитов, что, по крайней мере, не исключает возможности использования пересчета Sm-Nd модельного возраста пород домена по двустадийной модели. Попытка такого пересчета показывает, что из шести проанализированных нами проб в пяти T(DM-2) превышает 3 млрд. лет, давая разброс 3039-3239 млн. лет. Причем наиболее древние модельные возраста - 3239 млн. лет., $\epsilon_{Nd} = -2.27$ получены для биотитовых гнейсов, которые исходя из геологических наблюдений (Козлов и др., 2004) трактуются нами как древнейшие образования района, встреченные в виде ксенолитов в плагиигранитах. Для последних T(DM-2), измеренный в двух пробах, составляет 3089 млн. лет и 3141 млн. лет при $\epsilon_{Nd} = -0.17$ и -0.49 , соответственно. Для пород Ингозерской структуры получены сходные цифры модельного возраста – во всех 9 проанализированных пробах T(DM-2) превышает 3 млрд. лет при разбросе 3042-3266 млн. лет и вариациях ϵ_{Nd} от 0.93 до -1.73. Отметим, что авторы понимают условность таких пересчетов.

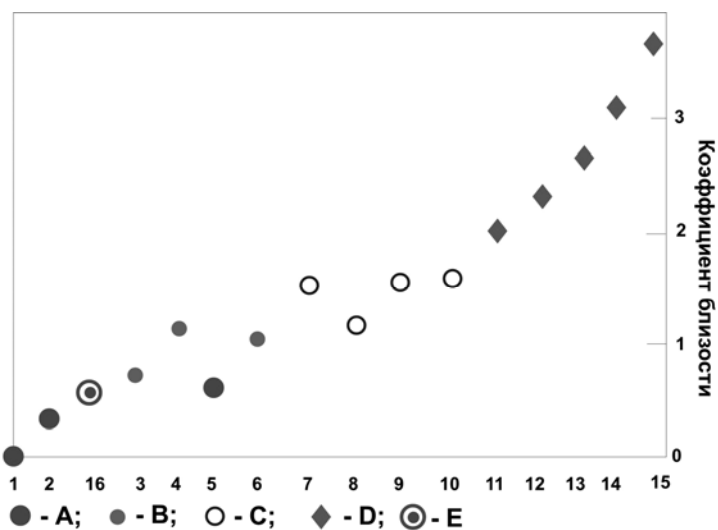


Рис. 2. Степень сходства метаморфитов Мурманского домена и архейских комплексов Северо-Атлантического кратона и Балтийского щита. Чем меньше значение коэффициента отличия (значения по вертикали), тем больше сходство сравниваемых объектов. Цифры соответствуют номерам блоковых структур на рис.1. Условные обозначения: А, В - типичные гранит-зеленокаменные области (А- протоархей, В- верхний архей), С- области промежуточного типа, D- типичные гранулит-гнейсовые области. Е – Ингозерская структура.

В случае принятия гипотезы о раннеархейском возрасте пород Мурманского домена важным представляется вопрос об их сравнении с палеоархейскими образованиями Северо-Атлантического кратона. При их максимальном сходстве, как это было показано выше, устанавливается ряд значимых отличий состава комплексов Мурманского домена от древнейших породных ассоциаций как Карелии, так Канады и Гренландии. Характер этих отличий описывается линейной функцией параметров химического состава $Fg = 0.004 * SiO_2 - 0.58 * TiO_2 - 0.05 * Al_2O_3 + 0.546 * \sum FeO - 0.248 * MnO - 0.05 * MgO - 0.282 * CaO + 0.368 * Na_2O + 0.291 * K_2O$, то есть совокупным ростом в направлении к Мурманскому домену $\sum FeO$, Na_2O и K_2O . Такое отличие хорошо объяснимо, если принять предположение о более глубинном генезисе его породных ассоциаций. Действительно, данный тренд хорошо описывает, к примеру, изученные по литературным данным (всего 1099 полных силикатных анализов) различия разноглубинных, согласно модели О.А. Богатикова и А.А.Цветкова (1988), фанерозойских магматитов основного состава (рис.3).

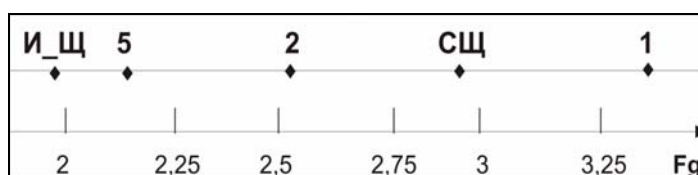


Рис. 3. Положение палеоархейских комплексов Карелии, Гренландии и Канады относительно породных ассоциаций Мурманского домена и известково-щелочных и субщелочных базальтов фанерозоя на факторе $Fg = 0.004 * SiO_2 - 0.58 * TiO_2 - 0.05 * Al_2O_3 + 0.546 * \sum FeO - 0.248 * MnO - 0.05 * MgO - 0.282 * CaO + 0.368 * Na_2O + 0.291 * K_2O$. И-Щ, СЩ – известково-щелочные и субщелочные базальты фанерозоя, соответственно.

Вся совокупность геолого-петрогеохимических данных позволяет рассматривать Мурманский домен в качестве фрагмента раннеархейской глубоко эродированной ГЗО, сохранившего в своем основании лишь тоналит-трондьемит-гнейсовый фундамент, насыщенный включениями супракрустальных пород. Этим может быть объяснено и отличие структурно-вещественных парагенезисов Мурманского домена от характерных ансамблей типичных гранит-зеленокаменных областей. Действительно, по данным М.В. Минца с соавторами (1996), зеленокаменные пояса Карельской гранит-зеленокаменной области выклиниваются на глубине 3-5 км от поверхности, далее, по сейсмическим данным, прослеживаясь фрагментарно. Этот факт очень важен и указывает на то, что при достаточно интенсивных процессах орогении, проявившихся в Кольском регионе в позднем архее, некоторые гранит-зеленокаменные области могли иметь аллохтонное залегание и подвергнутся интенсивной эрозии. К таким областям, по-видимому, может быть отнесен и Мурманский домен, который был надвинут на Кольско-Норвежский и Кейвский домены по Титовско-Кейвскому надвигу (Шарков и др., 2000), что могло привести к выведению на поверхность более глубинных частей земной коры, нежели, например, в Карельской гранит-зеленокаменной области, лишенных отчетливо проявленных признаков зеленокаменных структур.

Проведенный сравнительный анализ особенностей вещественного состава породных ассоциаций древнейших доменов Кольского позволяет надежно разделить их на две группы, первая из которых представлена породами Мурманского домена и Ингозерской структуры, а вторая - метаморфитами Беломорского подвижного пояса, Кольско-Норвежского и Кейвского доменов (табл.1, 2, рис. 4). Отметим, что внутри второй группы также намечаются отличия между породными ассоциациями Беломорского подвижного пояса, с одной стороны, и Кольско-норвежского и Кейвского доменов, с другой. При этом метаморфиты Беломорья по многим параметрам ближе к породам первой группы (рис.4).

Расчет меры близости архейских объектов (Ингозерская структура ввиду малого количества анализов в выборке из этого сопоставления была исключена) показывает, что в центральной части Кольского региона выделяется полоса, сложенная метаморфитами Кольско-Норвежского и Кейвского доменов, отчетливо отличающимися как от беломорских образований, так и от пород Мурманского домена (рис.5). При сравнении породных ассоциаций в пределах этой полосы, сложенной породными ассоциациями Кольско-норвежского и Кейвского доменов, отчетливо просматривается своеобразие последнего (табл. 1), что хорошо объяснимо большей близостью Кейвского домена к комплексам, характерным для платформенных областей.

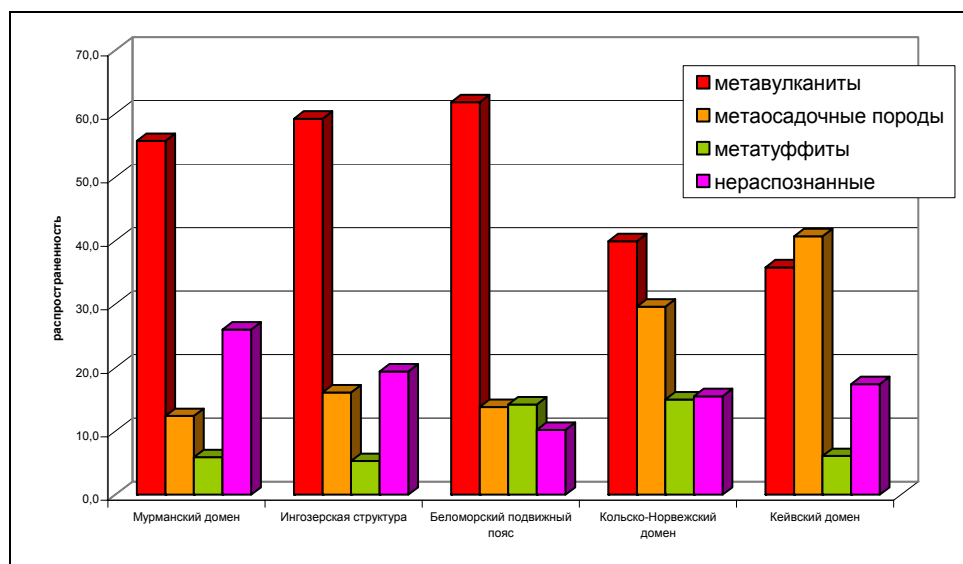


Рис.4. Сравнение распространенности разновидностей пород в различных архейских структурах Кольского региона

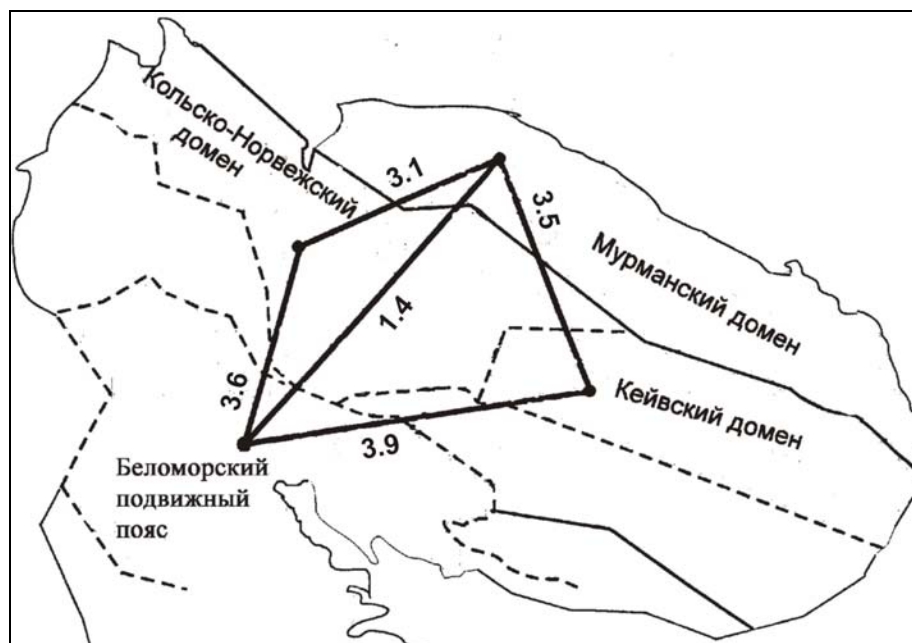


Рис.5. Сравнение вещественного состава различных архейских структур Кольского региона. Цифры у линий на рис. - коэффициент близости соответствующих объектов. Чем меньше значение коэффициента отличия, тем больше сходство сравниваемых объектов.

Далее приведены результаты сравнения вещественного состава метаморфитов в пределах двух названных выше групп. Напомним, что, согласно приведенным выше данным о сопоставлении состава метаморфитов различных регионов (рис.2), для исследованных в настоящей работе архейских комплексов первой группы (Мурманский домен и Ингозерская структура) нами принято раннеархейское время формирования их протолитов, в то время как породные ассоциации второй группы (Беломорский подвижный пояс, Кольско-Норвежский и Кейвский домены) могут быть отнесены к более молодым, возможно, нижнелопийским комплексам.

Исследование латеральной изменчивости состава пород Мурманского домена позволяет говорить о наличии устойчивых петрогеохимических отличий его восточной, центральной и западной частей. Характер этих отличий описывается линейными функциями параметров химического состава F_1 или F_2 (в данном случае задача не имеет единственного решения), приведенными в табл.3. В полосе пород, представленной образованиями Кольско-Норвежского и Кейвского доменов, также устанавливаются аналогичные отличия, что, в случае принятия предложенной последовательности формирования комплексов, может являться отражением унаследования более молодыми породными ассоциациями черт пород основания.

Оба фактора, за исключением поведения TiO_2 , подобны по направленности трендов изменения содержания элементов описанному ранее «глубинному» тренду F_g (табл.3). Такое сходство может быть объяснено, если предположить, что восточная часть Кольского региона уже на самых ранних этапах его развития обладала более мощной и зрелой корой, что и определило наличие в ее пределах более глубоких магматических источников и продуктов их переработки. В пользу такого предположения свидетельствует и более «платформенный» характер первичных породных ассоциаций Кейвского домена. Данная региональная тенденция нарастания «глубинности» формирования породных ассоциаций с запада на восток является продолжением описанной выше более крупномасштабной зональности от Гренландии и Карелии к Мурманскому домену (F_g).

Таблица 1

Сопоставление некоторых особенностей состава протолитов раннеархейских комплексов Кольского региона

| Объекты сопоставления | в перекрытие каких полей попадают нераспознанные по первичной природе разновидности* | % метамагматитов | состав преобладающих типов метамагматитов | преобладающие типы метаосадочных пород |
|-----------------------|--|------------------|---|--|
| Мурманский домен | В/тф** | 75,7 | кислые и средние | ГВ СГВ |
| Ингозерская структура | В/тф | 73,4 | кислые | ГВ СГВ |

| | | | | |
|----------------------------|-----------|------|----------|------------|
| Кольско-Норвежский домен | В/тф В/ОС | 47,2 | основные | ГВ ТУФ |
| Кейвский домен | В/тф В/ОС | 43,5 | основные | АРК СГВ ГЛ |
| Беломорский подвижный пояс | В/тф В/ОС | 68,8 | основные | ТУФ ГВ |

*) реконструкции протоприроды проводились по методике А.А.Предовского, 1980, доработанной авторами

***) В/тф – метавулканыты и метатUFFиты, В/ОС – метавулканыты и метаосадочные породы, АРК – метааркозы, СГВ – метасубграувакки, ГВ – метаграувакки, ТУФ – метатUFFиты, ГЛ – метапелиты

Исследование изменчивости состава пород древнейших образований вкрест простирания пород, с юга - юго-запада на север - северо-восток, от Ингозерской структуры к Мурманскому домену, показывает наличие тренда, описанного линейными функциями параметров химического состава F_1 или F_2 (в данном случае задача также не имеет единственного решения), приведенными в табл.4. В предположительно более молодых архейских образованиях, от Беломорского подвижного пояса к Кольско-Норвежскому домену, также как и в предыдущем случае, устанавливаются аналогичные отличия.

Данный тренд в общих чертах противоположен по направленности изменения содержания отдельных элементов описанному ранее «временному» тренду F (табл.4). Это хорошо объяснимо в рамках гипотезы, которой придерживаются и авторы настоящей работы (Козлов и др., 1999), согласно которой южная - юго-западная часть породных ассоциаций региона, начиная уже с раннего архея, последовательно наращивала более древнее, расположенное на севере - северо-востоке ядро, являясь по отношению слагающим его комплексам более молодыми.

Таблица 2

Сопоставление возможного геодинамического режима формирования протолитов основных пород древнейших комплексов Кольского региона

| Объекты сопоставления | Юные дуги | Развитые дуги | Зрелые дуги | Континент-ральные рифты | Срединно-океанические хребты | Траппы |
|----------------------------|-------------|---------------|-------------|-------------------------|------------------------------|-------------|
| Мурманский домен | 3.43 | 3.71 | 3.21 | <u>2.94</u> | 3.13 | 2.37 |
| Ингозерская структура | 3.10 | 3.54 | 3.06 | <u>1.73</u> | 1.95 | 1.76 |
| Кольско-Норвежский домен | <u>4.68</u> | 7.06 | 4.89 | 5.28 | 6.10 | 3.38 |
| Кейвский домен | <u>3.72</u> | 4.34 | 3.74 | 3.90 | 4.03 | 3.36 |
| Беломорский подвижный пояс | <u>3.68</u> | 4.34 | 3.75 | 3.88 | 3.72 | 3.0 |

В таблице приведены расстояния конкретных выборок до соответствующих эталонных групп. Чем меньше значения приведенных коэффициентов, тем ближе сравниваемые объекты. Жирным выделены значения минимального отличия. Подчеркнуты значения, близкие к минимальным.

Таблица 3

Сравнение вариантов «латеральных» факторов (F_1 и F_2) и фактора «глубинности» (F_g) в древнейших комплексах Кольского региона

| окислы | F_1 | F_2 | F_g |
|-------------------|--------------|--------------|--------------|
| TiO ₂ | +0.28 | -0.29 | -0.58 |
| Fe | +0.04 | +0.25 | +0.55 |
| MnO | -0.46 | <u>+0.04</u> | -0.25 |
| CaO | <u>+0.07</u> | -0.58 | -0.28 |
| Na ₂ O | +0.47 | +0.29 | +0.37 |
| K ₂ O | +0.42 | <u>+0.01</u> | +0.29 |

Жирным шрифтом выделены совпадения по направленности изменений содержаний элементов, подчеркнуты значения, которые ввиду малой величины при сопоставлениях не учитывались

Сопоставление вещественного состава наиболее древних, согласно геохронологическим данным, породных ассоциаций Карелии, Гренландии и Канады с относительно более молодыми архейскими комплексами Балтийского щита позволяет говорить о наличии «возрастного» тренда изменчивости химического состава пород, который описывается линейной функцией параметров химического состава

$F=0.027*SiO_2- 0.413*TiO_2- 0.499*Al_2O_3+ 0.393*\sum FeO +0.1*MnO+ 0.574*MgO+ 0.188*CaO- 0.037*Na_2O- 0.243*K_2O$ (здесь и далее $\sum FeO$ – суммарное железо в форме FeO, окислы приведены к 100%). Положение породных ассоциаций древнейших комплексов - Мурманского домена и Ингозерской структуры на данном тренде, приближенное к наиболее древним комплексам, не противоречит выводу о раннеархейском времени формирования их протолитов (рис.6а).

Таблица 4

Сравнение вариантов фактора (F_1 и F_2) изменения состава пород древнейших комплексов Кольского региона вкрест простирания с «временным» фактором F

| окислы | F_1 | F_2 | F |
|--------------------------------|--------------|--------------|-------|
| TiO ₂ | +0.23 | +0.34 | -0.41 |
| Al ₂ O ₃ | -0.19 | +0.11 | -0.50 |
| Fe | -0.46 | -0.12 | +0.39 |
| MnO | +0.46 | -0.79 | +0.1 |
| MgO | -0.10 | +0.12 | +0.57 |
| CaO | -0.20 | <u>-0.02</u> | +0.19 |
| K ₂ O | +0.51 | +0.45 | -0.24 |

Жирным шрифтом выделены значения, имеющие знак, противоположный «временному» фактору, подчеркнуты значения, которые ввиду малой величины при сопоставлениях не учитывались

Отметим также, что данный тренд указывает на закономерное увеличение от древних комплексов к более молодым совокупного влияния Mg, Fe, Ca, Mn и Si с соответствующим снижением совокупного влияния Ti, Al, Na, K. Это представляется важным в связи с известными закономерностями (Добрецов и др., 1986; Попов, 1988 и др.) возрастания концентрации Mg, Si, отчасти Ca и Fe и понижению содержания Ti и щелочей, в первую очередь K, при смене в фанерозойских вулканических сериях толеитовых ассоциаций бонинитовыми. То есть приведенная выше «временная» функция одновременно удовлетворительно описывает отличия составов бонинитовой ассоциации от островодужных толеитовых вулканитов фанерозоя. Этот вывод хорошо иллюстрируется положением названных фанерозойских образований на данном тренде (рис.6б).

Для целей такого сопоставления были использованы выбранные из различных источников литературные данные о составе 99 бонинитов и 43 толеитов, встречающихся совместно в островодужных ассоциациях. Напомним, что бониниты, характерные породы геологических систем островных дуг, преимущественно юных – Идзу-Бонинской, Марианской, Тонга-Кермадекской и других (Геология дна..., 1980; Татарин и др., 1987; Симонов и др., 1994), считаются высокомагнезиальной разновидностью известково-щелочных вулканитов (Добрецов и др., 1986; Шарков и др., 1997), достаточно типичных для офиолитовых разрезов (Добрецов и др., 1997) как фанерозоя, так и докембрия и пространственно тесно сопряжена с ними.

Добавим к этому, что метавулканиты, по своим характеристикам близкие известково-щелочным сериям, известны как в Карельской ГЗО области, где они имеют возраст 3.3 млрд. лет (Лобач-Жученко и др., 1991), так и на Кольском полуострове, где их возраст составляет 2.9 млрд. лет (Митрофанов и др., 2002). Более того, в Северной Карелии А.А. Щипанским с соавторами (1999) описаны архейские бониниты с возрастом 2.80-2.81 млрд. лет.

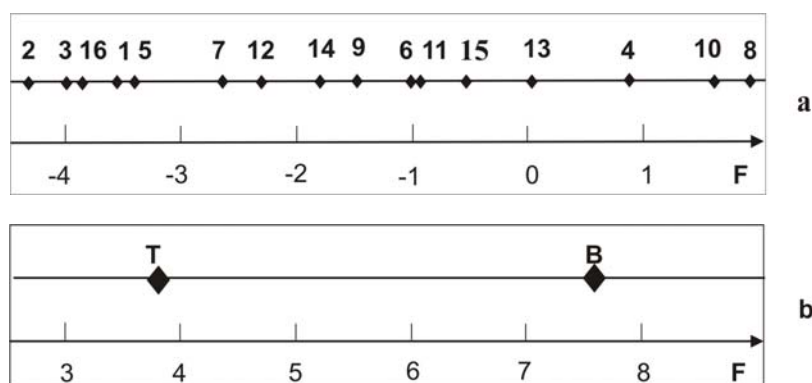


Рис. 6. Положение палеоархейских комплексов Карелии, Гренландии и Канады относительно архейских комплексов северо-востока Балтийского щита (а) и породных ассоциаций Мурманского домена (б), соответственно, на факторе $F= 0.027*SiO_2- 0.413*TiO_2-0.499*Al_2O_3+ 0.393*\sum FeO +0.1*MnO+ 0.574*MgO+ 0.188*CaO- 0.037*Na_2O- 0.243*K_2O$. 1-15 на рисунке – комплексы архея (цифры соответствуют номерам блоковых структур на рис.1. Т – толеиты, В – бониниты.

Сходные, «бонинитоподобные» серии формировались и на более поздних этапах развития Гренландии и Балтийской провинции, в палеопротерозое, причем для северо-востока Балтийского щита их развитие завершалось образованием расслоенных платиноносных интрузивов (Шарков и др., 1997, 2000). Это представляется важным, поскольку аналогичная генетическая связь бонинитовых магм с хромитовыми и платиноносными прослоями отмечалась для расслоенных массивов и других регионов, к примеру, для Бушвельдского массива (Sharpe, Hulbert, 1985; Hatton, Sharpe, 1989).

Таким образом, фиксируется устойчивое различия вещественного состава ранне- и позднеархейских породных ассоциаций, сходное с трендом отличия бонинитовых вулканических серий от островодужных толеитов фанерозоя. Можно предполагать, что данная петрогеохимическая «временная» тенденция отражает начальную стадию эволюции вещественного состава метамагматитов изученной территории от ранних, толеитовых ассоциаций к более поздним, палеопротерозойским «бонинитоподобным» образованиям. Если это справедливо, можно говорить, что предпосылки такого формирования создавались еще в архее, что подчеркивает правомерность вывода о длительности геологических процессов в раннем докембрии (Митрофанов, 2001).

Выводы

1. Мурманский домен являлся раннеархейской глубоко эродированной гранит-зеленокаменной областью, сохранившей в своем основании лишь тоналит-трондьемит-гнейсовый фундамент, насыщенный включениями супракрустальных пород, что важно для понимания геологического развития и эволюции Кольского региона. В этом случае Беломорский подвижный пояс, Кольско-норвежский и Кейвский домены можно рассматривать как вновь образованные геоструктуры земной коры, сформированные в результате коллизионного взаимодействия Карельской и Мурманской гранит-зеленокаменных областей. При такой трактовке геологических событий вполне объяснимо и максимальное сходство метаморфитов Мурманского домена и Ингозерской структуры, как реликта древнейших образований, обнаженного в купольной структуре среди метаморфитов Беломорья.

2. По особенностям вещественного состава породных ассоциаций древнейшие образования Кольского региона разделяются на две группы, первая из которых представлена породами Мурманского домена и Ингозерской структуры, а вторая - метаморфитами Беломорского подвижного пояса, Кольско-Норвежского и Кейвского доменов. Внутри второй группы намечаются отличия между породными ассоциациями Беломорского подвижного пояса, с одной стороны, и Кольско-норвежского и Кейвского доменов, с другой. При этом метаморфиты Беломорья по многим параметрам ближе к породам первой группы.

3. При существенной близости вещественного состава породных комплексов Мурманского домена в выбранном пространстве эталонов с раннеархейскими образованиями Северо-Атлантического кратона между ними установлен ряд отличий, которые хорошо объяснимы, если принять предположение об относительно более глубинном генезисе породных ассоциаций Мурманского домена.

4. Закономерности изменения состава архейских породных ассоциаций в пределах Кольского региона в направлении с юго-запада на северо-восток позволяют говорить о том, что южная - юго-западная часть его геологических образований, начиная с раннего архея, последовательно наращивала более древнее, расположенное на севере - северо-востоке территории ядро, являясь по отношению к слагающим его комплексам более молодыми. При этом восточная часть Кольского региона уже в раннем архее обладала более мощной и зрелой корой. Данная тенденция нарастания «глубинности» формирования породных ассоциаций с запада на восток является продолжением более крупномасштабной зональности, наблюдающейся при продвижении от Гренландии и Карелии к Мурманскому домену.

5. Фиксируется устойчивое различия вещественного состава ранне- и позднеархейских породных ассоциаций, сходное с трендом отличия бонинитовых вулканических серий от островодужных толеитов фанерозоя. Можно предполагать, что данная петрогеохимическая «временная» тенденция отражает начальную стадию эволюции вещественного состава метамагматитов изученной территории от ранних, толеитовых ассоциаций к более поздним, палеопротерозойским «бонинитоподобным» образованиям, с которыми связано формирование платиноносной провинции региона. Если это так, предпосылки уникальной металлогенической специализации Кольского региона создавались еще в архее.

Настоящая работа выполнялась по программе Отделения наук о Земле «Глубинное строение и геодинамика Земли: взаимодействие внутренних и внешних (гидросфера, атмосфера, ионосфера) геосфер и их влияние на окружающую среду» при частичной финансовой поддержке Кольской геолого-геохронологической и металлогенической научной школы (НШ №2305.2003.5) и рффи (грант № 05-05-64177-а). Работы поддержаны также Отделением наук о Земле по госконтрактам: "Пространственные и временные соотношения гранито-гнейсовых архейских комплексов и проблема сохранности и переработки глубинных зон земной коры в кристаллических щитах" 10002-251/ОНЗ-05/192-440/250703-1106 -2003 год и 10002-251/ОНЗ-06/183-440/260504-340 - 2004 год.

Благодарности. Авторы признательны руководителю Кольской геолого-геохронологической и металлогенической научной школы, директору ГИ КНЦ РАН, академику РАН, профессору Ф.П.Митрофанову за постоянную поддержку настоящих исследований, а также за ряд ценных замечаний, высказанных в ходе обсуждения результатов данного исследования.

Литература

1. Богатиков О.А., Цветков А.А. Магматическая эволюция островных дуг. М.: Наука, 1988, 248 с.
2. Геология дна Филиппинского моря // М.: Наука, 1980, 261 с.
3. Добрецов Н.Л., Конников Э.Г., Скляр Е.В., Медведев В.Н. Марианит - бонинитовая серия и эволюция офиолитового магматизма Восточного Саяна // Геология и геофизика, 1986, № 12, с. 29-35.
4. Зоненшайн Л.П., Кузьмин М.И., Натапов Л.М. Тектоника литосферных плит территории СССР: в 2 книгах // М.: Недра, 1990, кн. 1, 328 с, Кн. 2, 334 с.
5. Иванов А.А., Козлов Н.Е., Мартынов Е.В. Петрогеохимическая неоднородность архейских супракрустальных комплексов восточной части Балтийского щита в связи с эволюцией древнейшей коры. //Геодинамика и глубинное строение советской части Балтийского щита, Апатиты: изд. КНЦ РАН, 1992, с. 99-106.
6. Козлов Н.Е., Мартынов Е.В., Иванов А.А. Черты петрогеохимических различий основных пород энсиалических и энсиматических комплексов (сравнительный анализ фанерозоя и докембрия.// Геохимия, 1999, № 6, с. 582-588.
7. Козлов Н.Е, Мартынов Е.В., Козлова Н.Е., Иванов А.А., Смирнов Ю.П., Колодкина А.В. Петрогеохимические особенности и метаморфизм архейских пород северо-восточного обрамления Печенги как критерий выбора их в качестве гомологов глубинных пород разреза СГ-3 // Вестник МГТУ, т. 5, № 1, 2002₁, с. 75-84.
8. Козлов Н.Е, Мартынов Е.В., Козлова Н.Е., Иванов А.А. Петрогеохимическое обоснование обнаружения гомологов архейских пород разреза Кольской СГ-3 на поверхности // Геохимия, 2002₂, № 6, с. 601-611.
9. Козлов Н.Е. и др. Предварительные данные о геологии Восточной части Мурманского домена // Материалы международной научно-технической конференции "Наука и образование – 2004", часть V, Мурманск, 2004, с. 85-88.
10. Лобач-Жученко С.Б., Чекулаев В.П., Сергеев С.А., Левченко О.А., Крылов И.Н. Древнейшие породы Карельской гранит – зеленокаменной области // В кн.: Ранняя кора: ее состав и возраст. М.: Наука, 1991, с. 157-186.
11. Минц М.В., Глазнев В.Н., Конилов А.Н., Кунина Н.М., Никитичев А.П., Раевский А.Б., Седых Ю.Н., Ступак В.М., Фонарев В.И. Ранний докембрий северо-востока Балтийского щита: Палеогеодинамика, строение и эволюция континентальной коры. М.: Научный мир, 1996, 287 с.
12. Митрофанов Ф.П. (ред.). Каталог геохронологических данных по северо-восточной части Балтийского щита. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2002, 53с.
13. Митрофанов Ф.П. Современные проблемы и некоторые решения докембрийской геологии кратонов // Литосфера, 2001, № 1, с. 5-14.
14. Попов В.С. Бониниты, их происхождение и соотношение с другими типами магматических пород (обзор иностранной литературы) // Записки ВМО, 1988. вып. 6, ч. 117, с. 730-746.
15. Предовский А.А. Реконструкция условий седиментогенеза и вулканизма раннего докембрия. Л.: Наука, 1980, 152 с.
16. Симонов В.А., Добрецов Н.Л., Буслов М.М. Бонинитовые серии в структурах Палеоазиатского океана // Геология и геофизика, 1994, т. 35, № 7-8, с. 182-199.
17. Сорохтин О.Г., Ушаков С.А. Развитие Земли: Учебник. – М.: Изд-во МГУ, 2000, 506 с.
18. Татарин И.А., Говоров И.Н., Васильев Б.И. Бониниты Идзу - Бонинского желоба // ДАН СССР, 1987, Т. 296, № 2, с. 415-419.
19. Хаин В.Е. Тектоника континентов и океанов (год 2000). М.: Научный мир, 2001, 604 с.
20. Хаин В.Е., Основные проблемы современной геологии. М.: Научный мир, 2003, 348 с.
21. Шарков Е.В., Смолькин В.Ф., Красивская И.С. Раннепротерозойская магматическая провинция высокомагнезиальных бонинитоподобных пород в восточной части Балтийского щита // Петрология, 1997, т. 5, № 5, с. 503-522.
22. Шарков Е.В., Богатиков О.А., Красивская И.С. Роль мантийных плюмов в тектонике раннего докембрия восточной части Балтийского щита // Геотектоника, 2000. № 2, с. 3-25.
23. Щипанский А.А., Самсонов А.В., Богина М.М., Слабунов А.И., Бибикина Е.В. Высокомагнезиальные, низкотитанистые кварцевые амфиболиты Хизоваарского зеленокаменного пояса Северной Карелии - архейские метаморфизованные аналоги бонинитов? // ДАН, 1999, т. 365, № 6, с. 817-820.
24. Bridgwater D., Marker M., Mengel F. The eastern extension of Early Proterozoic Tornagat Orogenic Zone across the Atlantic // LITHOPROBE, Report № 27, 1992, p. 76-91.
25. Gorbatshev R., Bogdanova S. Frontiers in the Baltic Shield // Precambrian Research, 1993, V. 64, № 1-4, p. 3-21.
26. Hatton C.J, Sharpe M.R. Significance and origin of boninite-like rocks associated with the Bushveld Complex // In book: Boninites and Related Rocks, London: Unwin. Hyman, 1989, p. 174-207.
27. Sharpe M.R, Hulbert I.J. Ultramafic sills beneath the eastern Bushveld Complex: mobilized suspension of early lower zone cumulates in a parental magma with boninitic affinities // Economic Geology, 1985, V. 80, p. 849-871.