

**Генезис архейских базитовых вулканитов Балтийского щита
и возможные геодинамические режимы их формирования на основе
анализа геохимических данных**

Арестова Н.А.

Институт геологии и геохронологии докембрия РАН, г. Санкт-Петербург, e-mail: narestova@mail.ru

Одной из важных проблем в геологии раннего докембрия является определение состава первичной океанической коры и возможных геодинамических режимов ее формирования. Наиболее перспективным для этих целей является изучение состава вулканитов основного и ультраосновного состава, входящих в состав архейских зеленокаменных поясов. В ряде поясов, которые предположительно возникли в результате аккреции, базальтовые и коматиит-базальтовые фрагменты могут рассматриваться как реликты древней океанической коры. Поскольку геохимический и изотопно-геохимический состав базитов и ультрабазитов является функцией состава источника плавления, РТ параметров и степени плавления источника, детальный геохимический анализ базитов, сопоставленный с геологическими данными, позволяет судить об условиях образования расплавов формировавших древнюю океаническую кору. Условия образования коматиитов, входящих в состав зеленокаменных поясов, в настоящее время не вызывают особых разногласий. Большинство исследователей считает, что коматииты кристаллизовались из глубинных высокотемпературных расплавов, производных плюмов. Условия генезиса базальтов зеленокаменных поясов могут существенно различаться.

В последние годы появилось большое количество исследований, авторы которых, основываясь на анализе современных базитов, образованных в различных геодинамических обстановках, значительно расширили представления об их геохимических и изотопно-геохимических различиях [1,2,3 и др.]. При сопоставлении данных геохимии раннедокембрийских и современных базальтов, образованных в различных геодинамических обстановках, можно делать выводы о типе мантийного источника и геодинамической обстановке при образовании раннедокембрийских базальтов. Керром с соавторами [2] и Конди [3] была показана роль HFS элементов и их отношений (Nb/Y - Zr/Y , Zr/Nb - Nb/Th и $mg - Ni$) для подобных определений.

В свете вышеизложенных представлений был проанализирован большой объем как собственных, так и литературных данных по составу архейских базальтов зеленокаменных поясов Балтийского щита [4,5,6,7,8,9] (всего использовано около 200 собственных и около 100 анализов из литературных источников).

Исследованиями последних лет были установлена последовательность формирования архейской коры Балтийского щита [10]. Наиболее ранним по времени формирования является Водлозерский домен с возрастом коры 3.2-3.4 млрд. лет, затем следуют Западно-Карельский домен с возрастом коры 3.1-3.0 млрд. лет, Кольский и Беломорский домены с возрастом коры 3.0-2.9 и наиболее молодым является Центральнo-Карельский домен с возрастом коры менее 2.85 млрд лет. Характеристика базальтов в работе приведена соответственно их положению в блоковых структурах щита с различным возрастом коры.

1) Наиболее древние базальты (2.96-2.91 млрд лет) выделены в пределах и в обрамлении Водлозерского домена. Базальты зеленокаменных поясов западной окраины Водлозерского домена (Хаутаваарский, Койкарский, Семченский, Палаламбинский, Остерский) и восточной окраины (Кенозерский пояс), которые рассматриваются как аккреционные структуры [4,11, 12], по своим геохимическим характеристикам можно разделить на три группы. Базальты первой группы присутствуют во всех поясах и составляют в отдельных поясах от 80 до 100% всех базальтов. Они характеризуются магнeзиальностью от 0.60 до 0.50, $Nb/Y=0.10-0.28$, $Zr/Y=2.15-3.3$, $Zr/Nb=10-22$, концентрациями Ni 100-160 г/т. Базальты этой группы обладают плоским недифференцированным распределением РЗЭ с концентрациями в 3.5–5.0 раз выше, чем в примитивной мантии, $(Nb/Nb^*)\sim 1$. Соответственно отношениям HFS элементов ($Nb/Y - Zr/Y$), базальты первой группы более соответствует характеристикам современных базальтов плато, образованным из плюмового источника близкого к РМ.

Базальты второй группы выделены только в пределах Семченского пояса, где они составляют менее 10% всех базальтов пояса. В базальтах второй группы $mg=0.65-0.57$, $Nb/Y = 0.05-0.08$, $Zr/Y=1.6-2.8$ $Ni=42-100$ ppm. В базальтах второй группы “плоское” распределение РЗЭ с $(La/Yb)_N=1.0$, $(Nb/La)_N=0.7$, концентрации РЗЭ в три раза выше, чем в примитивной мантии. Геодинамическая обстановка формирования базальтов группы согласно соотношениям HFS элементов $(Nb/Y - Zr/Y)$ и $mg-Ni$, более соответствуют задуговым бассейнам.

Базальты третьей группы выделены в Семченском, Койкарском и Остерском и Кенозерском поясах, где они составляют около 10% всех базальтов поясов. Они имеют наиболее низкую магнетиальность $mg=0.50-0.38$, $Nb/Y=0.13-0.24$, $Zr/Y=2.5-3.5$, низкие концентрации Ni – около 50 ppm, и Cr – около 100 ppm. Базальты этой группы обогащены ЛРЗЭ: $(La/Yb)_N=1.8$, $(La/Sm)_N=1.2$, $(Nb/La)_N=0.7$. Эти отношения в совокупности с остальными геохимическими характеристиками близки характеристикам современных базальтов островных дуг.

Базальты поясов северной окраины Водлозерского домена (Шилосский, Каменозерский), которые рассматриваются как окраинно-континентальные рифты [11,12] или обдуцированная океаническая кора [9], магнетиальные ($mg= 0.64-0.49$) концентрации $Ni=180 - 85$ ppm, $Nb/Y=0.10-0.18$, $Zr/Y=2.2-3.2$. Базальты этих поясов преимущественно обеднены ЛРЗЭ $(La/Yb)_N=0.5-0.7$, $(La/Sm)_N=0.6$ концентрации РЗЭ в 2.5-3.5 раза выше, чем в примитивной мантии, но встречаются базальты с ‘плоским’ распределением РЗЭ, признаки контаминации коровым веществом отсутствуют – $(Nb/La)_N=0.8-1.5$. Соответственно отношениям HFS элементов $(Nb/Y - Zr/Y)$, они более всего соответствует современным базальтам плато, образованным из плюмового источника близкого к РМ.

2) Следующий этап базальтового вулканизма 2.88-2.81 млрд лет широко проявлен в Кольском, Центральном-Карельском, Западно-Карельском и в меньшей степени Беломорском

В Кольском домене базальты зеленокаменных поясов (Полмос-Поросозерского, Урагубского, Корватундровского пояса) по химическому составу разделяются на две группы. Базальты первой группы характеризуются высокой магнетиальностью $mg=0.61$, $Ti/Zr=100$, близко к мантийному, концентрации $Ni = 100-200$ ppm, $Nb/Y=0.10-0.20$, $Zr/Y=2.1-2.8$. Базальты первой группы характеризуются недифференцированным распределением РЗЭ: $(La/Yb)_N = 0.9$, $(Gd/Yb)_N=1.0$. По соотношению HFS элементов (Kerr et al., 2000, Conde, 2005) базальты первой группы соответствуют базальтам океанических плато, выплавленных из РМ источника. Базальты второй группы с $mg=0.44$, обладают более высокими концентрациями титана, концентрации $Ni = 50-124$ ppm, $Nb/Y=0.12-0.40$, $Zr/Y=3-6$. Положение базальтов второй группы на диаграммах Nb/Y -, Zr/Y и $mg-Ni$ с полями базальтов различных геодинамических обстановок, выделенных по (Kerr et al., 2000, Conde, 2005), более соответствует базальтам островных дуг. Соотношение базальтов первой и второй групп составляет примерно 70% и 30%.

Базиты “мафической зоны” Беломорского домена по своим геохимическим особенностям соответствуют базальтам архейских зеленокаменных поясов и делятся на две группы. Базальты первой группы с $mg= 0.61-0.52$, $SiO_2=47.8-50.8\%$, низкотитанистые и умеренноглиноземистые. концентрации $Ni=169-300$ ppm, $Cr = 290-350$ ppm, отношение Ti/Zr (102-120) в базальтах близко к отношению в РМ. Для базальтов характерно “плоское” распределение РЗЭ $(La_N/Yb_N = 1.24)$ с концентрациями в пять раз выше, чем в РМ. На диаграмме $Zr/Y - Nb/Y$ с выделенными полями базальтов различных геодинамических обстановок (Kerr et al., 2000 Conde, 2005) они соответствуют вулканитам океанических плато. Базальты второй группы ($mg= 0.47-0.42$) характеризуются более низкими концентрациями $Ni = 50-80$ ppm и $Cr=40-150$ ppm, отношение Ti/Zr (92 –78) ниже, чем в примитивной мантии. Базальты второй группы обогащены ЛРЗЭ $(La_N/Yb_N = 3.07)$, для них характерны более высокие Zr/Y и Nb/Y отношения, соответствующие базальтам островных дуг и задуговым бассейнов.

В Хизоваарском пояс зеленокаменном поясе Центральном-Карельского домена базальты характеризуются $mg = 0.64 -0.47$, отношение Ti/Zr (93-130) близко к мантийному. концентрации $Ni - 125 - 60$ ppm. Базальты обеднены ЛРЗЭ: $(La/Sm)_N=0.65-0.80$, $(Gd/Yb)_N=1.06-1.1$, концентрации РЗЭ в базальтах в 4-5 раз выше, чем в примитивной мантии, в них отсутствуют признаки контаминации коровым веществом: $(Nb/La)=0.9-1.05$. Соотношение $Zr/Y - Nb/Y$ в базальтах и высокие концентрации Ni позволяют сопоставлять их с базальтами океанических плато.

В Западно-Карельском домене базальты этого возраста представлены в Костомукшском зеленокаменном поясе, которые рассматриваются как окраинно-континентальные рифты [11,13] или обдуцированная океаническая кора [10]. Базальты характеризуются: $mg = 0.60-0.44$ концентрации Ni 300 – 80 ppm, Nb/Y=0.10-0.28, Zr/Y=2.15-3.3, Ti/Zr отношение в неконтаминированных базальтах равно 110, а в контаминированных базальтах оно снижается до 90-100. Неконтаминированные базальты слабо обеднены ЛРЗЭ (La/Sm)=0.8, (Gd/Yb)_N = 1.0 (или (Tb/Yb)_N=1.0); с концентрациями РЗЭ в 4–7 раз выше, чем в мантии; (Nb/La)_N отношение составляет 1.0 В контаминированных базальтах (La/Sm)_N = 0.9-1.2, (Tb/Yb)_N=1.05; (Nb/La)_N отношение составляет 0.65-0.85. Соответственно отношениям HFS элементов (Nb/Y – Zr/Y), они более всего соответствуют характеристикам современных базальтов плато, образованным из плюмового источника близкого к РМ.

Проведенный анализ пространственного положения, распространенности и геохимических особенностей архейских базальтов Балтийского щита позволяет сделать следующие выводы.

Наиболее ранние фрагменты архейской океанической коры (2.96-2.94 млрд лет) распространены вблизи древнего ядра Балтийского щита – Водлозерского домена, в его восточном и западном обрамлении. Базальты этих фрагментов океанической коры преимущественно представляют собой базальты океанических плато образованных из плюмового источника. Базальты, по своим геохимическим характеристикам близкие к базальтам срединно-океанических хребтов (MORB) не встречены. Небольшое количество базальтов сопоставимое с современными базальтами островных дуг и задуговых бассейнов образовалось на окраине древнего ядра континентальной коры и океанической коры.

Базальты поясов северного обрамления Водлозерского домена (2.92-2.91 млрд лет) все без исключений представляют собой базальты океанических плато образованные из плюмового источника.

Следующие по времени формирования фрагменты океанической коры (2.88–2.81 млрд лет). Среди базальтов поясов Кольского и Беломорского доменов преобладающими также являются базальты океанических плато. Базальты, по своим геохимическим характеристикам близкие к базальтам срединно-океанических хребтов (MORB) не встречены. В поясах Кольского домена возрастает относительное количество базальтов аналогичных современным базальтам островных дуг и задуговых бассейнов, однако возможно этот факт связан с меньшим объемом представленной выборки анализов.

Базальты поясов Центрально-Карельского и Западно-Карельского доменов, аналогично базальтам поясов северного обрамления Водлозерского домена представлены высокотемпературными базальтами океанических плато.

Следовательно, судя по сохранившимся фрагментам океанической коры Балтийского как с для этапа 2.96-2.91 млрд лет, так и для этапа 2.88-2.81 млрд лет мы можем считать, что поступление вещества для разрастания океанической коры происходило за счет плюмовых источников и плит-тектонический механизм в полной мере не действовал. На границах континентальных ядер и океанической коры, а вероятно и внутри океанической коры происходило взаимодействие вещества с образованием островных дуг, и активность этого взаимодействия со временем возрастала.

Литература

1. Sun S., McDonough W.F. Chemical and isotopic systematic of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. / Eds: A.D.Saunders, M.J.Norry // *Magmatism in the ocean basins*. Geol. Society, Spec. Publ. 1989. V. 42. P. 313-345.
2. Kerr A.C., White R.V., Saunders A.D. LIP reading: recognizing oceanic plateaux in the geological record. // *J. Petrol.*. 2000. V.41. (7) P.1041-1055.
3. Condie K. C, High field strength element ratios in Archean basalts: a window to evolving sources of mantle h\plumes? // *Lithos*. 2005. V.491-50479. P.
4. Кожевников В.Н. Архейские зеленокаменные пояса Карельского кратона как аккреционные орогены. Петрозаводск, изд-во Кар.НЦ РАН. 2000. 222 с.
5. Кожевников В.Н. Геология и геохимия Северо-Карельских зеленокаменных структур. Петрозаводск: Изд-во Кар 1992..НЦ РАН, 199 с.
6. Вревский А.Б. Петрология коматиитов, изотопно-геохимическая эволюция верхней мантии и геодинамика архейских зеленокаменных поясов. Автореф. дисс. доктора геол.-мин. наук. С.-Петербург: СПбГУ., 2000. 37 с.
7. Слабунов А.И. Керетская гранит-зеленокаменная система Карелии // *Геотектоника*. 1993. № 5. С. 61–74.

8. Puchtel I.S., Hofman A.W., Mezger A.W., et al. Oceanic plateau model for continental crustal growth in the Archaean: A case study from the Kostomuksha greenstone belt, NW Baltic Shield // *Earth Plan. Sci. Lett.* 1998. V. 155. P. 57–74.
9. Puchtel I.S., Hofman A.W., Amelin Yu.V., et al. Combined mantle plume-island arc model for the formation of the 2.9 Ga Sumozero-Kenozero greenstone belt, SE Baltic Shield: isotope and trace element constraints. // *Geochim. Cosmochim. Acta.* 1999. V. 63. № 21. P. 3579–3595.
10. Лобач-Жученко С.Б., Чекулаев В.П., Арестова Н.А., и др. Архейские террейны Карелии: их геологическое и изотопно-геохимическое обоснование. // *Геотектоника.* 2000. № 6. С.26–42.
11. Арестова Н.А. Эволюция базит-ультрабазитового магматизма Балтийского щита интервала 3.4 - 2.4 млрд лет. Автореферат докт. дисс. С.-Петербург. ИГГД. 2004. 45 с.
12. Лобач-Жученко С.Б., Арестова Н.А., Коваленко А.В., Крылов И.Н. Карельская гранит-зеленокаменная область. Водлозерский домен. Ранний докембрий Балтийского щита (ред. В.А.Глебовицкий) СПб. Наука. 2005. С. 288–343.
13. Лобач-Жученко С.Б., Арестова Н.А., Коваленко А.В., Чекулаев В.П. Карельская гранит-зеленокаменная область. Западно-Карельский домен // *Ранний докембрий Балтийского щита* (ред. В.А.Глебовицкий) СПб. Наука. 2005. С. 343–395.
14. Чекулаев В.П., Арестова Н.А., Коваленко А.В., Слабунов А.И. Карельская гранит-зеленокаменная область. Центрально-Карельский домен // *Ранний докембрий Балтийского щита* (ред. В.А.Глебовицкий) СПб. Наука. 2005. С. 395–471.

Палеомагнетизм позднеархейских интрузий санукитоидов и его значение для геодинамических реконструкций Балтийского щита в раннем докембрии

Арестова Н.А.¹, Гуськова Е.Г.², Храмов А.Н.³, Иосифиди А.Г.³

1. Институт геологии и геохронологии докембрия, г. Санкт-Петербург e-mail: narestova@mail.ru
2. Санкт-Петербургский филиал Института Земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн РАН, г. Санкт-Петербург
3. Всероссийский нефтяной научно-исследовательский геологоразведочный институт, МПР, РАН, г. Санкт-Петербург

В настоящее время большинством исследователей позднеархейский период (2.75-2.60 млрд лет) считается переломным в развитии Земли. На основе анализа характера и объемов мантийного магматизма в пределах планеты этот период связывают с формированием первых суперплюмов, приводивших к растяжению и разрыву первичных континентов [1,2]. Современные представления о геодинамической обстановке формирования коры Балтийского щита в позднем архее являются противоречивыми. Ряд исследователей считает, что в период 2.75-2.60 млрд лет на Балтийском щите преобладали процессы сжатия – аккреционные и коллизионные процессы и противопоставляют его этапу растяжения 2.4-2.5 млрд лет [3,4]. Наши исследования позволяют считать, что в позднем архее на Балтийском щите преобладал внутриконтинентальный рифтогенез с растяжением ранее сформированной коры [5,6]. Характерной особенностью магматизма этого периода является появление первых субщелочных мантийных пород, получивших название санукитоидов, и базитов, обогащенных легкими редкоземельными элементами, связанных с плюмовым магматизмом.

Наряду с исследованием характера магматизма, важная роль в решении геодинамических задач принадлежит палеомагнитным методам исследований, которые позволяют дать количественную оценку взаимных перемещений отдельных тектонических блоков внутри плиты и возможных перемещений плиты. Имеющиеся до начала наших работ палеомагнитные данные для докембрийских пород Балтийского щита [7,8,9 и др.] позволили дать верхнюю оценку масштаба и возраста подобных движений и получить представление о дрейфе всего щита в протерозое. В течение последних лет проводились попытки реконструкции положения позднеархейского кратона и отдельных его блоков [10,11]. Проведенные реконструкции позволяют предположить, что к концу архея был сформирован архейский континент, включавший Карельскую, Кольскую и Супериор провинции и уже с позднего архея началось его растяжение и разрыв [12].