

6. Светов А. П., Свириденко Л. П. Магматизм шовных зон Балтийского щита. Л., 1991. 199 с.

7. Летников Ф. А. Флюидные фации континентальной литосферы и проблемы рудообразования // Тр. семинара Отделения «Проблемы глобальной геодинамики и металлогении». Вестник ОГГГН РАН. 1999. № 4 (10).

8. Летников Ф. А. Процессы самоорганизации при формировании магматогенных и гидротермальных рудных месторождений // Геология рудных месторождений. 1997. Т. 38, № 4. С. 307–322.

9. Glebovitsky V. A., Baltybayev Sh. K., Kovach V. P. et al. Tectonic evolution of the Svecofennian accretional orogen (SE Finland and north Ladoga region) // Svekalapko WS, abstracts, 1997. P. 30.

10. Глебовицкий В. А., Балтыбаев Ш. К., Левченков О. А. и др. Главная стадия плутоно-метаморфической активности в Приладожье: результаты определения изотопного возраста // ДАН. 2001. Т. 377, № 5. С. 667–671.

11. Глебовицкий В. А., Балтыбаев Ш. К., Левченков О. А.

и др. Время, длительность и РТ-параметры полистадийного метаморфизма свекофеннид Приладожья (Балтийский щит) (по данным термобарометрии и U-Pb-геохронометрии) // ДАН. 2002. Т. 384, № 5. С. 660–664.

12. Свириденко Л. П., Светов А. П. Метаморфизм ареалов докембрийского активного вулканоплутонизма Карелии // Первый Всерос. симпозиум по палеовулканологии. Петрозаводск, 2001. С. 120–122.

13. Светов А. П., Свириденко Л. П., Шаров Н. В. Диопиризм и проблемы алмазности докембрия Карелии // Материалы совещ. «Тектоника земной коры и мантии. Тектонические закономерности размещения полезных ископаемых». М., 2005. Т. II. С. 181–184.

14. Sviridenko L. P. The evolution of the fluid phase during the crystallization of granite types: Salmi pluton, Karelia, Russia // Mineralogy and Petrology. 1994. V. 50. P. 59–67.

15. Таусон Л. В. Типизация магматитов и их потенциальная рудоносность // Тез. 27-й междунар. геол. конгр. «Петрология». Т. 9. М., 1984. С. 221–229.

## ТИПОВЫЕ МАГМАТИЧЕСКИЕ СЕРИИ МЕЗОАРХЕЙСКИХ СУБДУКЦИОННЫХ СИСТЕМ

С. А. Светов

Институт геологии Карельского НЦ РАН, Петрозаводск; [ssvetov@krc.karelia.ru](mailto:ssvetov@krc.karelia.ru)

Детальные геохимические и петрологические исследования последних лет, проводимые в пределах фанерозойских субдукционных систем, позволили выделить целый ряд специфических породных серий андезитового ряда, таких как БАДР, адакитовая, байяитовая, высоко-Nb андезибазальтов, андезитов и ряд других, которые являются не только отражением смены условий магмогенерации в субдукционных системах, но и часто свидетельствуют об их латеральной зональности.

Данные работы стали методической основой для развития детальных геохимических исследований сохранившихся фрагментов архейских конвергентных зон, реконструированных в пределах древних кратонов мира, в частности, таких, как СьюперIOR в Канаде [1–3], и многих других. Часть выделенных андезитовых серий, например адакитовая, стали своеобразными геодинамическими индикаторами субдукционных режимов.

В настоящей статье представлены последние результаты изучения мезоархейских андезитовых ассоциаций Ведлозерско-Сегозерского зеленокаменного пояса Центральной Карелии. Данный пояс представляет собой одну из наиболее древних на Фенноскандинавском щите (мезоархейскую) транзитных зон перехода протоокеан (реликты океанических ассоциаций фрагментарно сохранились в виде коматиит-толеитовой серии) — континент (Водлозерский блок) с выделяемыми эпизодами формирования в конвергентной зоне протоостроводужной системы (в интервале 3,05–

2,95 млрд лет) и более поздней вулканической ассоциации активной континентальной окраины (2,90–2,80 млрд лет). Предлагаемое исследование затрагивает породные комплексы андезитового ряда обоих временных срезов.

По сравнению с прочими архейскими образованиями Фенноскандинавского щита (Восточной Карелии, Западной Карелии и Восточной Финляндии), мантийно-коровый вулканизм Центрально-Карельского сегмента в изотопно-геохимическом и петрологическом отношении изучен недостаточно (хотя именно эта территория является ключевой для понимания специфики зарождения и эволюции мезоархейского магматизма на западной конвергентной границе континентальной коры палеоархейского Водлозерского блока и мезоархейского протоокеана). В пределах данной территории в коллажированном виде сохранился достаточно полный разрез вулканогенно-осадочных комплексов, характеризующих все стадии эволюции транзитной зоны от 3,1 до 2,7 млрд лет.

Относительно низкая степень структурно-метаморфических преобразований вулканогенно-осадочных последовательностей пород позволяет проводить палеовулканические реконструкции динамики литогенеза, петролого-геохимические исследования архейских породных ассоциаций различной сериальной принадлежности и контрастного геодинамического заложения. Результаты этих исследований были обобщены ранее [4],

настоящая работа дополняет новым геохимическим материалом полученные выводы.

**Результаты геохимических исследований.** Детальные геолого-геохимические исследования позволили подтвердить изотопно-геохимическую неоднородность андезитовых ассоциаций, что несомненно является отражением различных петрологических условий и геодинамических режимов их формирования.

*Андезитовые ассоциации 1 уровня (3,05–2,90 млрд лет)*

*Высоко-Nb базальты, андезибазальты.* В настоящее время высоко-Nb базальты и андезибазальты выявлены среди субвулканических пород в пределах Остерской палеовулканической постройки (пробы 500-15а и 500-25). Данный тип характеризуется пониженными содержаниями  $\text{SiO}_2 = 50\text{--}53$  мас.%,  $\text{Mg\#} = 45\text{--}48$  и высокими концентрациями  $\text{Nb} > 20$  ppm (20–45 ppm), ЛРЗЭ – La (10–26 ppm), средним уровнем содержания Cr (100–200 ppm), Ni (30–80 ppm), имеют отношения  $\text{Zr/Y} = 4,8\text{--}5,6$ ,  $(\text{La/Yb})_{\text{pm}} = 4,9\text{--}6,2$ ,  $\text{Nb/Ta} = 18\text{--}23$ , соотношение  $\text{Th}_{\text{pm}}\text{-U}_{\text{pm}}\text{-Nb}_{\text{pm}}\text{-La}_{\text{pm}}\text{-Hf}_{\text{pm}}$  системы описывается неравенством  $\text{Th}_{\text{pm}} < \text{U}_{\text{pm}} < \text{Nb}_{\text{pm}} < \text{La}_{\text{pm}} > \text{Hf}_{\text{pm}}$ .

*Nb-обогащенная БАДР серия («нормального ряда»).* К данной серии относится большинство лав и туфов древней андезитовой ассоциации Ведлозерско-Сегозерского зеленокаменного пояса (Чалкинская, Игнойльская, Няльмозерская, Остерская палеовулканические постройки). По содержанию кремнезема и щелочей породы принадлежат к андезибазальтам, андезитам, дацитам и реже риодацитам с нормальной щелочностью. Максимальная дифференциация серии (от андезибазальтов до риолитов) проявлена в Игнойльской структуре. Соотношение щелочей  $\text{K}_2\text{O/Na}_2\text{O}$  варьирует от 0,3 до 0,5, что позволяет говорить о явно выраженной Na специфике ассоциации. Породы БАДР серии имеют повышенные содержания Nb (7–11 ppm),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (до 16–18 мас.%), Cr (20–200 ppm), Ni (12–140 ppm) в первичных выплавках и обогащение Co, Zr, Y, Sr, Ba в поздних дифференциатах. Андезитовые вулканы характеризуются отношениями  $\text{Zr/Y} = 5,4\text{--}8,8$ ,  $(\text{La/Yb})_{\text{pm}} = 8\text{--}19$ ,  $\text{Nb/Ta} = 8\text{--}19$ , соотношение  $\text{Th}_{\text{pm}}\text{-U}_{\text{pm}}\text{-Nb}_{\text{pm}}\text{-La}_{\text{pm}}\text{-Hf}_{\text{pm}}$  системы описывается неравенством  $\text{Th}_{\text{pm}} > \text{U}_{\text{pm}} > \text{Nb}_{\text{pm}} < \text{La}_{\text{pm}} > \text{Hf}_{\text{pm}}$ .

Изотопный состав Sm-Nd в БАДР сериях Чалкинской, Игнойльской и Остерской структур свидетельствует о значительном вкладе в состав их магматических источников более древнего корового материала. Рассчитанные модельные возрасты андезитов и дацитов Чалкинской структуры по модели De Paolo [5] варьируют от 2890 до 3584 млн лет, для Игнойлы – 2970–3245 млн лет, для Остра – 3000–3380 млн лет.  $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$  для БАДР серии Чалкинской структуры (T – 2995 млн лет) изменяется от +1,5 до –2,3, для Игнойльской структуры (T – 2995 млн лет) варьирует от –1,2 до +2,1.

*Высоко-Mg андезиты (байиты).* Породы данного типа распространены достаточно широко, они

представлены лавовой и дайковой фациями в пределах Чалкинской структуры. Основное отличие от вулканических прочих серий связано с их повышенной магнезиальностью ( $\text{Mg\#} = 53\text{--}64$ , при содержании  $\text{SiO}_2 = 53\text{--}64$  мас.%), высокими концентрациями Cr (220–620 ppm), Ni (150–650 ppm) при пониженных концентрациях Nb (6–9 ppm). Вулканы имеют отношения  $\text{Zr/Y} = 3,5\text{--}5,9$ ,  $(\text{La/Yb})_{\text{pm}} = 1,9\text{--}4,5$ ,  $\text{Nb/Ta} = 17\text{--}19$ , соотношение  $\text{Th}_{\text{pm}}\text{-U}_{\text{pm}}\text{-Nb}_{\text{pm}}\text{-La}_{\text{pm}}\text{-Hf}_{\text{pm}}$  системы соответствует следующему соотношению:  $\text{Th}_{\text{pm}} > \text{U}_{\text{pm}} > \text{Nb}_{\text{pm}} < \text{La}_{\text{pm}} > \text{Hf}_{\text{pm}}$ . Спектры распределения редких и редкоземельных элементов в высоко-Mg базальтах идентичны сосуществующим с ними породам Nb-обогащенной БАДР серии («нормального ряда»).

*Адакитовая серия.* Мезоархейские субвулканические тела, дайки, лавы и туфы адакитовой серии, с возрастом ~2995 млрд лет, выявленные в Чалкинской, Игнойльской и ряде других структур Ведлозерско-Сегозерского зеленокаменного пояса, по содержанию  $\text{SiO}_2$  (54–70 мас.%) относятся к андезитам – дацитам, могут быть классифицированы большей частью как высоко-SiO<sub>2</sub> адакиты – тип «HAS» [6], при этом отличаются от типичных известково-щелочных пород повышенными концентрациями  $\text{Na}_2\text{O}$  (3,6 <  $\text{Na}_2\text{O}$  < 6,1 мас.%, при средних значениях 3,9–5,1 мас.%), значительной вариацией магнезиальности ( $\text{Mg\#} = 54\text{--}70$ ).

Наиболее ярко отличия между вулканическими адакитовой и прочих выделенных серий проявляются в концентрациях редких и редкоземельных элементов. Так, адакиты Ведлозерско-Сегозерского зеленокаменного пояса имеют содержания Sr > 320 ppm (250–600 ppm). Для современных адакитов этот уровень может превышать 700 и даже достигать 2000 ppm, однако бывают и исключения, так, адакиты полуострова Тайтао содержат Sr < 280 ppm [7]. Так же аномально высокие концентрации отмечаются для Ba (280–980 ppm), Zr (140–240 ppm), U (1,0–3,5 ppm), характеристические отношения равны  $\text{Zr/Y} = 8,0\text{--}24,5$ ,  $(\text{La/Yb})_{\text{pm}} = 8,1\text{--}31,4$ ,  $\text{Nb/Ta} = 16\text{--}32$ , соотношение  $\text{Th}_{\text{pm}}\text{-U}_{\text{pm}}\text{-Nb}_{\text{pm}}\text{-La}_{\text{pm}}\text{-Hf}_{\text{pm}}$  системы описывается неравенством  $\text{Th}_{\text{pm}} > \text{U}_{\text{pm}} > \text{Nb}_{\text{pm}} < \text{La}_{\text{pm}} > \text{Hf}_{\text{pm}}$ .

Распределение РЗЭ в мезоархейских адакитах Центральной Карелии сильно фракционированное –  $(\text{La/Yb})_n > 10$ , при этом уровень содержания ТРЗЭ аномально низкий:  $\text{Ho} < 0,4$ ,  $\text{Er} < 1,0$ ,  $\text{Tm} < 0,1$ ,  $\text{Yb} < 0,9$ ,  $\text{Lu} < 0,11$  ppm. РЗЭ спектры топологически идентичны адакитам островов Кука, которые признаны типовыми представителями высоко-SiO<sub>2</sub> адакитовой серии [6]. На классификационных диаграммах в координатах Sr/Y – Y и  $(\text{La/Yb})_n$  –  $\text{Yb}_n$  фигуративные точки субвулканических Хаутаваары, Игнойлы и Чалки ложатся в область типичных адакитовых серий мира вблизи поля адакитов ЮВ Японской вулканической дуги.

Изучение Sm-Nd систематики показало, что первичные отношения  $\epsilon_{\text{Nd}}$  для адакитовой серии Игнойльской палеовулканической постройки

варьируют от +0,7 до +2,3, модельные возрасты (по модели De Paolo [5]) – от 2956 до 3092 млн лет. Для близлежащего Чалкинского палеовулкана  $\epsilon_{Nd}$  для адакитов изменяется от +0,8 до +2,0, при модельных возрастах от 2979 до 3071 млн лет. С использованием ранее полученных изотопных данных были рассчитаны Sm-Nd изохроны –  $3014 \pm 130$  млн лет ( $\epsilon_{Nd} = +1,1$ , MSWD = 27, n = 15) для адакитов Игнойлы и  $2990 \pm 140$  млн лет ( $\epsilon_{Nd} = +1,4$ , MSWD = 2,1, n = 6) для адакитов Чалки. Эрахоны для адакитовой серии Хаутаваарской мегаструктуры (адакиты всех палеовулканических построек) дают значение  $2976 \pm 130$  млн лет ( $\epsilon_{Nd} = +1,2$ , MSWD = 15, n = 8), с использованием ранних данных –  $3005 \pm 96$  млн лет ( $\epsilon_{Nd} = +1,1$ , MSWD = 16, n = 18), что в принципе, несмотря на большую погрешность, коррелирует с данными по U-Pb системе.

*Андезиты толеитовой серии.* Породы данного типа представлены лавовой и дайковой фациями в пределах Чалкинской структуры. По содержанию  $SiO_2 = 58–65$  мас.% породы отвечают андезитам, их магнезиальность варьирует в широких пределах Mg# от 35 до 53. В этой серии также отмечаются повышенные концентрации Cr (270–800 ppm), Ni (100–300 ppm) при низких содержаниях Nb (<4 ppm). Вулканисты имеют отношения Zr/Y – 5,0–7,5,  $(La/Yb)_{pm} = 0,9–1,9$ , Nb/Ta = 12–26, соотношение  $Th_{pm}-U_{pm}-Nb_{pm}-La_{pm}-Hf_{pm}$  системы удовлетворяет неравенству  $Th_{pm} > U_{pm} > Nb_{pm} > La_{pm} < Hf_{pm}$ . Основное отличие от вулканистов прочих серий связано с нефракционированным распределением P3Э.

*Андезибазальты, андезиты коматиитовой серии.* Данная группа пород выделена в Паласельгинской структуре, исключительно в виде дайковой фазы секущей толщу коматиит-базальтового состава. Дайки сформированы андезибазальтами, андезитами ( $SiO_2 = 55–59$  мас.%) с магнезиальностью Mg# = 50–54, высокими содержаниями Cr (600–2400 ppm), Ni (30–100 ppm), очень низкими содержаниями Nb (<1,6 ppm), Hf (0,7 ppm), Zr (<22 ppm). Спайдерграмма андезитов имеет недифференцированный характер в области P3Э и ярко выраженную положительную U аномалию. Породы также имеют очень низкие, нетипичные для андезитов, отношения Zr/Y – 1,3–1,6,  $(La/Yb)_{pm} = 0,7–0,9$ , Nb/Ta = 2,0–2,2, соотношение  $Th_{pm}-U_{pm}-Nb_{pm}-La_{pm}-Hf_{pm}$  системы –  $Th_{pm} < U_{pm} > Nb_{pm} < La_{pm} < Hf_{pm}$ .

*Андезитовые ассоциации 2 уровня (2,90–2,80 млрд лет)*

*Nb-обогащенная АДР серия («нормального ряда»).* Породы этого ряда доминируют в молодом андезидацитовом ансамбле зеленокаменного пояса, наиболее широко они распространены в пределах Койкарской и Эльмусской структур. По содержанию  $SiO_2$  породы отвечает по составу андезибазальтам, андезитам, дацитам, риодацитам, риолитам с нормальной щелочностью. Значимым отличием от древней БАДР серии является более кислая специализация второго уровня вулканизма.

Соотношение  $K_2O$  и  $Na_2O$  в андезидацитовых вулканистах и туфах варьирует от 0,1 до 0,7, при этом характеристическим является интервал 0,1–0,4, что подчеркивает Na специализацию ассоциации. Вулканисты имеют низкие концентрации MgO и CaO. По распределению петрогенных элементов они близки магматическим породам активных континентальных окраин Андского типа или энсиалическим островодужным системам. Для вулканистов отмечаются повышенные содержания Nb (8–17 ppm), Cr (50–150 ppm), Ni (20–75 ppm), Zr (110–420 ppm) и Co, Zr, Y в поздних дифференциатах. Часть риолитов (Эльмусская и Койкарская структуры) имеют повышенные концентрации Sr (до 250 ppm), Ba (до 1100 ppm). Величина отношения Zr/Y варьирует в интервале 5,1–17,2, что свойственно вулканистам активных континентальных окраин, Nb/Ta = 9–19. Соотношение  $Th_{pm}-U_{pm}-Nb_{pm}-La_{pm}-Hf_{pm}$  системы описывается неравенством  $Th_{pm} < U_{pm} > Nb_{pm} < La_{pm} > Hf_{pm}$ .

Топология распределения P3Э в вулканистах и туфах молодой андезидацитовой ассоциации близка современным формациям центрального сегмента Андийского вулканического пояса [8] и олигоценовым риолитовым лавам района Меза Сентрал, юго-западной части вулканической провинции Сьерра-Мадре, Мексика [9]. Нормированные отношения P3Э в породах молодой СТА Ведлозерско-Сегозерского зеленокаменного пояса следующие:  $(La/Sm)_n = 3,00 \pm 0,31$ ,  $(Gd/Yb)_n = 2,31 \pm 0,35$ ,  $(Ce/Yb)_n = 5,81 \pm 2,81$ , при этом туфы имеют более деплетированный спектр распределения тяжелых P3Э:  $(La/Sm)_n = 3,53–4,13$ ,  $(Gd/Yb)_n = 3,89–5,24$ ,  $(Ce/Yb)_n = 22,14–26,39$ .

Проведенное изучение Sm-Nd систематики Nb-обогащенной АДР серии Эльмусской структуры показало: значения  $\epsilon_{Nd}(t)$ , полученные для риолитов, варьируют от –1 до –6 с аномальными значениями –16 для самой измененной пробы. Модельные возрасты вулканистов (по модели [5]) находятся в интервале от 3074 до 3283 млн лет, наиболее древнее значение – 3506 млн лет – получено для дайки риолитов. К сожалению, отмечаются нарушения Sm-Nd системы, не позволяющие рассчитать изохронный возраст, а все полученные модельные возрасты маркируют существенный вклад древнего сиалического материала в формирование ассоциации.

*Адакитовая серия.* В настоящее время основной областью распространения адакитов этого возраста является Семченская структура, в пределах Койкарской структуры пока выявлена лишь одна дайка (проба S-80) с адакитовыми геохимическими характеристиками. Породы адакитовой серии имеют аномально низкие содержания TP3 элементов и явное подобие топологии P3Э спектров фанерозойским адакитовым расплавам. Следует подчеркнуть, что если древнейшая островодужная ассоциация имела доминирующие адакитовые составы в виде субвулканической фазы, то в верхнем уровне АДР серии

адакитовые характеристики более присущи лавовой фации. Для пород также отмечаются аномально высокие содержания Ba (270–500 ppm), Sr (200–320 ppm) и низкие концентрации Nb (3,0–3,8 ppm), Ti (3600–3800 ppm) и всех ТРЗЭ, при этом их общий уровень содержания значительно ниже, чем в адакитах древней островодужной системы. Соотношение  $Th_{pm}-U_{pm}-Nb_{pm}-La_{pm}-Hf_{pm}$  системы описывается неравенством  $Th_{pm} < U_{pm} > Nb_{pm} < La_{pm} > Hf_{pm}$ .

*Андезиты толеитовой серии.* Породы представлены лавовой и дайковой фациями в пределах Койкарской структуры. По содержанию  $SiO_2 = 60–63$  мас.% породы отвечают андезитам и имеют повышенную магнезиальность (Mg# от 60 до 63), по геохимической характеристике подобны толеитовым андезитам древнего уровня. В этой серии также отмечаются повышенные концентрации Cr (100–200 ppm), Ni (28–45 ppm) при низких содержаниях Nb (<5 ppm). Вулканыты имеют отношения  $Zr/Y = 5,0–8,2$ ,  $(La/Yb)_{pm} = 0,7–1,7$ ,  $Nb/Ta = 10–13$ , соотношение  $Th_{pm}-U_{pm}-Nb_{pm}-La_{pm}-Hf_{pm}$  системы описывается неравенством  $Th_{pm} > U_{pm} > Nb_{pm} > La_{pm} < Hf_{pm}$ .

Обобщая полученный геохимический материал, следует кратко рассмотреть варианты формирования подобных ассоциаций в мезоархейской конвергентной субдукционной системе на примере парагенезов Ведлозерско-Сегозерского зеленокаменного пояса.

*БАДР серия «нормального ряда».* Формирование данной дифференцированной ассоциации является закономерным этапом развития субдукционной системы. При генерации серии предполагаемой областью плавления являлась зона метасоматизированного мантийного клина. Как показали результаты ранних модельных расчетов [4], область плавления располагалась на глубинах 60–70 км (давление в источнике <25 кбар). Степень плавления при генерации первичных известково-щелочных расплавов не превышала 12–20%, температуры  $T = 1000–950$  °С. Все разнообразие пород связано с процессами фракционирования первичных базальтовых, андезибазальтовых расплавов.

*Адакитовая серия.* Генерация адакитовых расплавов осуществлялась при непосредственном плавлении субдуцируемой океанической плиты, чаще всего в режиме пологой субдукции на инициальной или конечной стадии. В некоторых случаях формирование адакитов возможно и в обстановках «слаб-виндов» (в областях разрыва субдуцируемой плиты). Модельные расчеты генерации адакитов Ведлозерско-Сегозерского зеленокаменного пояса позволили установить, что исходные магмы могли быть получены при 10–15% плавлении амфиболита с образованием  $Srx (60\%) + Gar (10\%) + Pl (25\%) + Hbl (5\%)$  рестита, с последующим фракционированием  $Pl \pm Srx$ . Формирование адакитов связано с инициальной стадией заложения субдукционной системы, и впоследствии расплавы данного состава внесли существенный вклад в формирование прочих гибридных серий.

*Высокомагнезиальные андезибазальты, андезиты (байиты)* характеризуются содержанием  $SiO_2$  на уровне 56–65 мас.%, повышенной магнезиальностью (Mg# > 0,5) и концентрациями Cr, Ni, ЛРЗЭ. Подобный тип расплавов может формироваться в ходе взаимодействия отделенных при плавлении метасоматизированной мантии расплавов с адакитовыми магмами и прогрессивной их гибридизации [3, 10, 11].

*Высоко-Nb базальты, андезибазальты и Nb-обогащенные андезиты.* От пород прочих серий высоко-Nb базальты и андезиты отличаются значительными концентрациями Nb > 20 ppm, в случае Nb-обогащенных пород эти концентрации составляют 7–20 ppm, что в любом случае значительно превышает концентрации Nb в породах островодужных систем, где они не превышают 2 ppm [12]. Обогащенные Nb породы являются типичными ансамблями островодужных систем, как и адакиты [1, 2]. Формирование ассоциации возможно по нескольким моделям, включающим взаимодействие адакитовых расплавов с продуктами плавления перидотитов в области мантийного клина; в ходе конвекционных движений в области мантийного клина, когда метасоматизированные перидотиты переносятся непосредственно в область плавления [13, 14].

*Толеитовая и коматиитовая серии.* Андезиты и андезибазальты толеитовой серии достаточно широко представлены в мезоархейских островодужных ансамблях Центральной Карелии. Формирование столь «примитивных» расплавов может происходить на инициальной стадии заложения островодужной системы, что достаточно типично для фанерозойских конвергентных обстановок. Обнаружение же андезитов и андезидацитов коматиитового ряда в виде дайковой составляющей является достаточно уникальной находкой. Сопоставлении их геохимии с вариолитами (продуктами ликвационной дифференциации коматиитовых расплавов) показывает еще большее обеднение всеми РЗЭ, характеристика спектра почти полностью соответствует примитивной мантии, однако присутствует ярко выраженное обогащение Rb, Ba, Th, U, возможно связанное с контаминацией корового материала. Данные расплавы не могут являться продуктами непосредственного фракционирования коматиитовых магм, о чем свидетельствует крайне низкий уровень содержания лантаноидов, и условия их формирования пока остаются дискуссионными.

Таким образом, формирование описанных геохимически контрастных породных ассоциаций андезитового ряда проходило на различных стадиях заложения и развития субдукционной системы, и ассоциация рассмотренных серий является устойчивой как для архейских, так и для фанерозойских конвергентных обстановок.

*Исследования в 2005–2006 гг. проводились при финансовой поддержке «Фонда содействия отечественной науке».*

1. *Polat A., Kerrich R.* Magnesian andesites, Nb-enriched basalt-andesites, and adakites from late-archean 2.7 Ga Wawa greenstone belts, Superior Province, Canada: implications for late Archean subduction zone petrogenetic processes // *Contrib. to Mineral. and Petrol.* 2001. V. 141. P. 36–52.
2. *Polat A., Kerrich R.* Nd-isotope systematics of ~2.7 Ga kites, nesian sites and arc basalts, Superior Province: evidence for shallow crustal recycling at Archean subduction zones // *Earth and Planet. Sci. Letters.* 2002. V. 202. P. 345–360.
3. *Wyman D. A., Kerrich R., Polat A.* Assembly of archaic cratonic mantle lithosphere and crust: plume-arc interaction in the Abitibi-Wawa subduction-accretion complex // *Precambrian Research.* 2002. 115. P. 37–62.
4. *Светов С. А.* Магматические системы зоны перехода океан – континент в архее восточной части Фенноскандинавского щита. Петрозаводск, 2005. 230 с.
5. *DePaolo D. J., Linn A. M., Schubert G.* The continental crustal age distribution: methods of determining mantle separation ages from Sm–Nd isotopic data and application to the cordilleran South-western United States // *J. Geophys. Res.* 1991. 96. P. 2071–2088.
6. *Martin H., Smithies R. H., Rapp R. et al.* An overview of adakite, tonalite-trondhjemite-granodiorite (TTG), and sanukitoid: relationship and some implication for crustal evolution // *Lithos.* 2005. 79. P. 1–24.
7. *Martin H.* Adakitic magmas: modern analogues of Archaean granitoids // *Lithos.* 1999. 46. P. 411–429.
8. *Ort M. H., Coira B. L., Mazzoni M. M.* Generation of a crust-mantle magma mixture magma sources and contamination at Cerro Panizos, central Andes // *Contrib. to Mineral. and Petrol.* 1996. 123. P. 308–322.
9. *Orozco-Esquivel M. T., Nieto-Samaniego A. F., Alaniz-Alvarez S. A.* Origin of rhyolitic lavas in the Mesa Cetral, Mixico, by crustal melting related to extension // *Jor. Volcan. and Geothermal. Res.* 118. 2002. P. 37–56.
10. *Kelemen P. B.* Genesis of high Mg# andesites and continental crust // *Contrib. to Mineral. and Petrol.* 1995. V. 120. P. 1–19.
11. *Calmus T., Aguillo-Robles A., Maury R. C. et al.* Spatial and temporal evolution of basalts and magnesian andesites (“bajaites”) from Baja California, Mexico: the role of slab melts // *Lithos.* 2003. 66. P. 77–105.
12. *Taylor S. R., McLennan S. M.* The geochemical evolution of the continental crust // *Rev. Geophys.* 1995. V. 33. P. 241–265.
13. *Sajona F. G., Maury R. C., Bellon H. et al.* High field strength element enrichment of Pliocene – Pleistocene island arc basalts, Zamboanga Peninsula, western Mindanao (Philippines) // *J. Petrol.* 1996. 37. P. 693–726.
14. *Kepezhinskas P. K., Defant M. J., Drummond M. S.* Progressive enrichment of island arc mantle by melt – peridotite interaction inferred from Kamchatka xenoliths // *Geochim. Cosmochim. Acta.* 1996. 60. P. 1217–1229.

## ГИПОТЕЗА МАГМАТИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА ЭКЛОГИТОВЫХ ПАРАГЕНЕЗИСОВ В ПАЛЕОПРОТЕРОЗОЙСКИХ ДАЙКАХ БАЗИТОВ ГРИДИНСКОЙ ЗОНЫ МЕЛАНЖА, БЕЛОМОРСКИЙ ПОДВИЖНЫЙ ПОЯС

*О. С. Сибелев*

Институт геологии Карельского НЦ РАН, Петрозаводск; [Sibilev@krc.karelia.ru](mailto:Sibilev@krc.karelia.ru)

Гридинская зона эклогитсодержащего меланжа (ГЗМ) – уникальная структура, где на сравнительно небольшой площади присутствуют дезинтегрированные фрагменты практически всех архейских толщ, имеющих место в Беломорском подвижном поясе (БПП), от габбро-анортозитов и мраморов до ультрамафитов и глиноземистых гнейсов. Эти фрагменты (обломочная часть меланжа) уже к рубежу AR<sub>2</sub> – PR<sub>1</sub> претерпели полифациальные метаморфические изменения. Они заключены в неоднородный, сложноскладчатый гнейсовый матрикс тоналитового, гранитоидного или диоритового состава.

В палеопротерозое сформировавшиеся меланжированные толщи прорваны базитовыми дайками, дополнительно деформированы и метаморфизованы, частично мигматизированы, а участками метасоматически изменены. Несмотря на всестороннее изучение ГЗМ в последние годы [1–4 и др.], по мнению автора, не определена даже десятая часть «рецептуры» этого многокомпонентного и

долго готовящегося «блюда». Нерешенными или решенными частично остаются вопросы геодинамических обстановок, способствующих высокобарным метаморфическим проявлениям и эксгумации эклогитсодержащих комплексов, полистадийности процессов эклогитизации, латеральной неоднородности ГЗМ, взаимосвязи эклогитового и гранулитового метаморфизма и тоналит-грандьемитовых комплексов, структурной эволюции матрикса, образованию «ранних мигматитов» (адакитов?) в обломках апоэклогитов, минглингу габброидных магм и т. д. Но одной из наиболее важных проблем, препятствующих моделированию эволюции структуры, является отсутствие высокобарных парагенезисов во вмещающих эклогиты породах. Цель настоящей работы – попытка предложить гипотетическое решение одного из вопросов: механизма эклогитизации протерозойских габброидов (на примере даек комплекса лерцолитов – габброноритов возраста 2,42–2,44 млрд лет).