

лития получают из минерализованных вод; г) техногенные месторождения.

В пользу этого говорит широкое развитие на территории Украинского щита магматических и метасоматически измененных пород различных составов, возрастов и происхождения. Это дает основание предсказывать возможность образования крупных и даже уникальных месторождений.

Наконец, существует перспектива открытия новых редкометальных и редкоземельных месторождений, связанных с магматическими комплексами.

## **ПЛУМ-ЛИТОСФЕРНЫЕ ПРОЦЕССЫ В УСЛОВИЯХ ДРЕВНИХ КРАТОНОВ: МАНТИЙНЫЙ МАГМАТИЗМ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ФЕННОСКАНДИИ ОТ ПРОТЕРОЗОЯ ДО ПАЛЕОЗОЯ**

*Арзамасцев А. А.*

*Геологический институт Кольского научного центра РАН, г. Апатиты*

В пределах кольской части Фенноскандии выделяют несколько циклов эндогенной активности, каждый из которых сопровождался проявлениями мантийного магматизма. Наиболее крупными проявлениями активности мантии явились протерозойский и палеозойский этапы, разделенные длительным амагматическим периодом более чем в 1 млрд. лет.

С раннепротерозойским этапом связано развитие рифтогенного Печенгско-Варзугского пояса, в формировании которой выделяют предрифтогенный (2.55-2.3 млрд.лет), раннерифтогенный (2.3-2.2 млрд.лет), позднерифтогенный (2.2-1.95 млрд.лет) и орогенный (1.95-1.75 млрд.лет) этапы [1]. В заключительный период произошло внедрение многофазных щелочных интрузий, ряд из которых обнаруживает аномальные Sr-Nd изотопные характеристики, свидетельствующие о сложных формах корово-мантийного взаимодействия.

Интрузия Гремяха-Вырмес сложена ультрабазитами, щелочными сиеногранитами и фойдолитами. Полученные изотопные датировки показывают, что формирование контрастных по составу интрузивных серий массива происходило в относительно узком возрастном интервале. Так, Rb-Sr изохронная зависимость по всей совокупности образцов отвечает возрасту 1890 млн. лет ( $I_{Sr} = 0.7037$ ), датировки по единичным зернам циркона из нефелинового сиенита и сиеногранита дают средний возраст  $1884 \pm 6$  млн. лет, Rb-Sr минеральная изохрона для фойдолитов массива отвечает возрасту  $1894 \pm 48$  млн. лет ( $I_{Sr} = 0.70234$ ) [2]. Sr-Nd изотопные характеристики пород позволяют предположить происхождение ультрабазитовой и фойдолитовой серий из разных мантийных источников, причем фойдолиты имеют сходные изотопные характеристики с карбонатитами протерозойского массива Тикшеозеро [3]. Масс-балансовые расчеты трендов эволюции ультраосновной серии массива обнаружили близость состава исходных магм массива Гремяха-Вырмес ферропикритам, слагающим 4 вулканогенную толщу Печенгской структуры.

Интрузия Соустова, располагающаяся вблизи палеозойского Хибинского щелочного массива и сложенная анальцимовыми и содалитовыми сиенитами, демонстрирует иной тип взаимодействия мантийных расплавов с корой. Rb-Sr изохрона по образцам щелочных сиенитов дает значение  $1860 \pm 12$  млн.лет, причем обнаруживается аномально высокое первичное отношение стронция, составляющее  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(0)} = 0.7215$  [4]. Особенностью щелочных сиенитов массива является повышенные содержания F, Cl, REE, Y, Th, U, Zr, Hf, Nb, Ta, Sn, Be, Li, Rb, Tl, Pb и Cs, отрицательная аномалия Eu,  $K/Rb = 190-160$ ,  $Nd/Th = 3$  и  $Nb/Ta = 12$ . Эти геохимические черты, хотя и указывают на значительную долю корового компонента при формировании пород массива, однако это влияние не может быть объяснено простой ассимиляцией материала коры. В частности, Sr-Nd изотопные характеристики пород

указывают на отсутствие смешения с вмещающими архейскими гнейсами, как это наблюдается, например, в сиеногранитах массива Гремяха-Вырмес. Для объяснения обнаруженной изотопной аномалии предлагается модель, согласно которой образование пород массива Соустова обусловлено воздействием в протерозойское время на древние тоналит-трондjemитовые гнейсы метасоматизирующего флюида, богатого щелочами, F и Cl и генетически связанного с мантийными расплавами, давшими начало фойдолит-карбонатитовым сериям протерозойских массивов Гремяха-Вырмес и Тикшеозера. Это воздействие вызвало растворение богатого  $^{87}\text{Sr}$  биотита, а последующая кристаллизация минералов, в которых Sr является совместимым элементом, (полевые шпаты), привели к увеличению  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  отношения и снижению валового содержания Sr в полученном в конечном субстрате. В отличие от Rb-Sr, Sm-Nd изотопная система была менее чувствительна к растворению минералов с повышенным Sm/Nd отношением, и поэтому сохранила неизменным первичное отношение  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ .

Полученные в результате изучения протерозойских интрузий результаты позволяют заключить, что уже в период 1.9 млрд. лет в сублитосферной мантии региона, т.е. в мантийном киле, в ходе процессов плюм-литосферного взаимодействия сформировались области, обогащенные некогерентными элементами и способные продуцировать щелочные и карбонатитовые расплавы.

Палеозойский этап эндогенной активности в северо-восточной Фенноскандии проявился внедрением в полностью стабилизированные блоки докембрийского фундамента крупнейших агпайтовых массивов, карбонатитовых интрузий, роев щелочных даек и алмазоносных кимберлитов. К наиболее ранней фазе (*427±6 млн. лет назад*) отнесены проявления метасоматоза в мантии, предшествовавшего мощному циклу палеозойского магматизма. Этот возраст, полученный нами Rb-Sr изохронным методом при изучении нодулей шпинелевых лерцолитов из трубки взрыва горы Намуайв [5], оказался на 30 млн. лет древнее времени образования первых проявлений магматизма в северо-восточной части Балтийского щита. Инициальный этап активности (*410-390 млн. лет назад*) маркируется внедрением субщелочной Кургинской интрузии, а также вулканических серий. В течение главного этапа магматизма (*378 - 365 млн. лет назад*) произошло формирование Хибинского и Ловозерского комплексов и карбонатитовых интрузий Ковдора, Африканды, Турьего мыса, Вуориярви и др. Согласно последним данным изотопного датирования, длительность формирования Хибинского массива, начиная со времени заложения кальдеры проседания, первых проявлений в ней вулканической активности и заканчивая образованием дайкового комплекса, оценивается в  $25\pm 6$  млн. лет. С главным этапом щелочного магматизма совпадает появление в южной части Кольского региона трубок взрыва алмазоносных кимберлитов. Заключительный этап эндогенной активности (*365 - 362 млн. лет назад*) проявлен в образовании даек щелочных пикритов, меланефелинитов, фонолитов, лампрофиров, формировавших многочисленные рои внутри и в обрамлении щелочных массивов.

Проведенная оценка первичных составов палеозойской Кольской щелочной провинции и моделирование поведения микроэлементов при плавлении мантийных субстратов показало: (а) невозможность получения первичных расплавов Кольской провинции из состава примитивной мантии даже при предельно низких степенях плавления; (б) вероятность возникновения первичных расплавов Кольской провинции в результате низких степеней плавления субстрата, степень обогащения которого значительно превышала средние содержания несовместимых элементов в примитивной мантии [6]. Расчеты показывают, что даже в случае трехкратного превышения содержаний фосфора, Sr, REE, Zr, Hf, Nb, Ta в плавящемся субстрате по сравнению с примитивной мантией, для образования уникальных по масштабам скоплений указанных элементов, сконцентрированных в палеозойских интрузиях региона, потребовался бы объем мантии до 5 млн. км<sup>3</sup>. Этот объем соответствует области активизированной мантии мощностью 40 км, располагавшейся в кольцевой зоне диаметром около 400 км.

Можно полагать, что источником палеозойских щелочных магм являлись мантийные субстраты, испытавшие обогащение некогерентными элементами в результате эндогенных процессов в позднем протерозое. Взаимодействие палеозойского плюма с метасоматизированным в протерозое субстратом, слагающим область сублитосферной мантии, привело к появлению высокообогащенных некогерентными элементами расплавов. Таким образом, появление в ходе палеозойского цикла эндогенной активности щелочных расплавов, образовавших гигантские скопления некогерентных элементов в щелочных интрузиях, связано с неоднократными актами плюм-литосферного взаимодействия, происходившими в ходе протерозойского и палеозойского циклов эндогенной активности.

*Финансовая поддержка: программа 4 ОНЗ РАН и РФФИ (грант 06-05-64130).*

### **Литература**

1. Митрофанов Ф.П., Смолькин В.Ф., Шаров Н.В. Основные черты геологического строения северо-востока Балтийского щита. // Кольская сверхглубокая. (В.П.Орлов, Н.П.Лавров, ред.). М: МФ "ТЕХНОНЕФТЕГАЗ", 1998. 260 с. с.7-35.
2. Арзамасцев А.А., Беа Ф., Арзамасцева Л.В., Монтеро П. Протерозойский полифазный массив Гремяха-Вырмес, Кольский полуостров: пример смещения базитовых и щелочных мантийных расплавов. Петрология, 2006, т.14, №4, с.384-414.
3. Tichomirowa M., Grosche G., Götze J., Belyatsky B.V., Savva E.V., Keller J., Todt W. The mineral isotope composition of two Precambrian carbonatite complexes from the Kola Alkaline Province – Alteration versus primary magmatic signatures. Lithos 91 (2006) 229–249
4. Bea, F., Arzamastsev, A., Montero, P., Arzamastseva, L. Anomalous alkaline rocks of Soustov, Kola: evidence of mantle-derived metasomatic fluids affecting crustal materials. Contrib. Mineral. & Petrol., 2001, 140: 554-566.
5. Арзамасцев А.А., Б.В.Беляцкий. Эволюция мантийного источника Хибинского массива по данным Rb-Sr и Sm-Nd изучения глубинных ксенолитов. Доклады АН, 1999, т.366, № 3, с.387-390.
6. Арзамасцев А.А., Беа Ф., Глазнев В.Н., Арзамасцева Л.В., Монтеро П. Кольская щелочная провинция в палеозое: оценка состава первичных мантийных расплавов и условий магмогенерации. Российский журнал наук о Земле, 2001, т.3, N1, с.1-35.

## **ЭЛЕМЕНТЫ-ПРИМЕСИ В КЛИНОПИРОКСЕНЕ КАК ИНДИКАТОРЫ ЭВОЛЮЦИИ ЩЕЛОЧНО-УЛЬТРАОСНОВНЫХ ДАЙКОВЫХ СЕРИЙ**

*Арзамасцева Л. В., Арзамасцев А. А.*

*Геологический институт КНЦ РАН, Анатумы, [arzamas@geoksc.apatity.ru](mailto:arzamas@geoksc.apatity.ru)*

Клинопироксен является главным породообразующим минералом большинства щелочных дайковых пород и характеризуется широкими изменениями химического состава, которые проявляются как в пределах породного ряда, так и в пределах отдельных фенокристаллов минерала. Эти свойства позволяют рассматривать клинопироксен как важнейший петрологический индикатор, содержащий информацию об условиях формирования и эволюции конкретных магматических серий. В настоящей работе рассмотрен характер распределения элементов-примесей в клинопироксенах палеозойских дайковых щелочных серий Кольской провинции с целью определения их роли как геохимических индикаторов.

Локальным методом лазерной абляции с масс-спектрометрическим анализом индуктивно-связанной плазмы (LA-ICP-MS) были определены концентрации редкоземельных (REE), литофильных (LILE) и высокозарядных (HFSE) элементов в минеральных фазах, а также в заключающем их тонкокristаллическом базисе (матрице) из даек оливиновых меланефелинитов, мелилититов, нефелинитов и фонолитов разных районов Кольской провинции. LA-ICP-MS определения клинопироксена проводились в комбинации с