С нашей точки зрения, перечисленные предположения являются сомнительными, поэтому мы предлагаем альтернативную модель. При «нормальной» магматической дифференциации мантийного вещества дифференциация Lu и Hf определяется высокими коэффициентами распределения тяжелых REE в высокобарические фазы, прежде всего гранат. Это приводит к увеличению Lu/Hf отношения в деплетированной мантии DM относительно однородного хондритового резервуара CHUR. Если допустить, что на заключительном этапе аккреции Земли происходило интенсивное импактно – индуцированное термальное воздействие на материал планеты в приповерхностных условиях, то дифференциация Lu и Hf определялась термической диссоциацией главных минералов протовещества. Это вещество вероятнее всего было аналогично хондритам CI [8], которые содержат в качестве главных минеральных фаз глинистые минералы группы монтмориллонита, сульфаты и карбонаты, являющиеся носителями REE, в то время как гафний сконцентрирован в высокотемпературных конденсатах. Относительно низкотемпературное термическое воздействие на материал типа хондритов CI должно приводить к диссоциации водных минералов и карбонатов с генерацией водно-углекислотных флюидов обогащенных REE но не Hf, т.е. с исключительно высокими Lu/Hf отношениями. Гидротермальное воздействие таких флюидов на окружающее вещество могло приводить к генерации материала с высокой величиной отношения Lu/Hf. Мы предлагаем называть такое модельное вещество EHID –»Enriched Hadean Impact Differentiates» (соответственно комплиментарное к нему – «Depleted Hadean Impact Differentiates» DHID). При последующей дифференциации планеты и образовании протокоры вещество EHID и DHID могло быть частично ассимилировано древнейшими вулканитами, а частично ими погребено, оказавшись в составе литосферной мантии.

Впервые обнаруженная в постгадейских породах компонента вещества EHID вероятно сохранилось в части мантии, не участвовавшей в глобальной конвекции, а именно в субконтинентальной литосферной мантии (SCLM) под раннеархейским Охотским массивом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузьмин В.К., Лохов К.И., Прасолов Э.М., Матуков Д.И., Богомолов Е.М. Возраст и изотопно-геохимические характеристики раннедокембрийских кальцифиров Охотского массива. // Тезисы Всеросс. совещания: Изотопное датирование процессов рудообразования, магматизма, осадконакопления и метаморфизма. Т.I.,Москва GEOS, 2006, p.378-381
2. Лохов К.И., Прасолов Э.М., Капитонов И.Н., Кузьмин В.К., Родионов Н.В., Богомолов Е.М., Сергеев С.А. Изотопная геология раннедокембрийских кальцифиров Охотского массива, (С.В. России). // Региональная геология и металлогения, 2008, в печати.
3. Vervoort J.D., Blichert-Toft J. Evolution of depleted mantle: Hf evidence from juvenile rocks through time // Geochim. et Cosmocim. Acta, 1999 v.63, n3/4, p.533-556.
4. Salters V.J.M., White W.M. Hf isotope constrains on mantle evolution. // Chemical Geology, 1998, 145, p. 447-460.
5. Harrison T.M., Blichert-Toft J., Muller W., Albarede F., Holden P., Mojzsis S.J. Heterogeneous Headen Hafnium: Evidence of Continental Crust at 4.4 to 4.5 Ga. // Science, 2005, v.310, p.1947-1950.
6. Bizims M., Sen G., Salters V.J.M. Hf-Nd isotope decoupling in the ocean lithosphere: constrains from spinel peridotites from Oahu, Hawaii. // Earth and Planetary Science Letters, 2003, 217, p.43-58.
7. Salters V.J.M., Zindler A. Extreme $^{176}Hf/^{177}Hf$ in sub-oceanic mantle. // Earth and Planetary Science Letters, 1995, 129, p.13-30.
8. Додд Р.Т. Метеориты. Петрология и геохимия. М., Мир, 1986, 384 с.

РАННЕПРОТЕРОЗОЙСКИЕ ГЛУБИННЫЕ ПОРОДЫ ДАЙКОВОГО КОМПЛЕКСА КОСТОМУКШИ: К ПРОБЛЕМЕ ИСТОЧНИКА ИЗОТОПНО – ЛЕГКОГО УГЛЕРОДА В ОСАДОЧНЫХ КОМПЛЕКСАХ ЛЮДИКОВИЯ

Лохов К.И.[1], Антонов А.В.[1], Устинов В.Н.[2], Лукьянова Л.И.[1], Прасолов Э.М.[1], Гольцин Н.А.[1]

[1]Центр Изотопных Исследований ВСЕГЕИ, г. Санкт-Петербург, Kirill_Lokhov@vsegei.ru
[2]АК «АЛРОСА», г. Санкт-Петербург

Вулканогенно – осадочные комплексы людиковия Балтийского щита специфичны присутствием существенных количеств осадочных пород с восстановленными формами углерода. Характерным примером является разрез людиковия Онежской структуры, в котором находится не менее 10^{10} тонн восстановленного углерода, отчасти в виде шунгитов различных типов [6, 7]. Примечательно, что балансовые расчеты показывают, что суммарный углерод людиковийских осадков (карбонатный и восстановленный) имеет аномально легкий изотопный состав, $\delta^{13}C_{sum}$ < -10 – -15‰. Возможная интерпретация возникновения осадков с изотопно легким углеродом – приповерхностное окисление метана нижележащих осадков, генерированного за счет деятельности биоты [9], и возможно зафиксированного на некоторое время в виде газовых гидратов. С другой стороны, при взаимодействии глубинного углекислого флюида с кристаллическими породами коры, что вызывает ее гранулитизацию, происходит существенное абиогенное изотопное фракционирование углерода с фиксацией в нижних горизонтах изотопно легко-

го углерода в виде рассеянного атомарного в кристаллических решетках минералов, и в виде графита. Последующая активизация нижнекоровых гранулитов может привести к поступлению в осадочную оболочку углерода со значительно более легким изотопным составом, чем в мантии: $\delta^{13}C < -5 – -7‰$ [4]. Если это имело место, то должны наблюдаться магматические породы с возрастом порядка 2 млрд. лет, смешанного генезиса (корово-мантийные), обогащенные флюидными компонентами с аномально изотопно легким углеродом, который может быть зафиксирован в виде карбоната. В пределах Балтийского щита крупные интрузивные тела пород соответствующего возраста и генезиса не известны, однако таковые могут быть среди дайковых комплексов. Наиболее полно дайковые комплексы изучены в пределах выработки Костомукшского железорудного месторождения, где отмечаются дайки различного состава, и, как выяснилось в результате данного исследования, различного возраста и генезиса.

В Костомукшском районе выявлены десятки даек, которые образуют кусты, общее количество тел – близко к пятидесяти. Дайки мощностью от 0,2 до 4 м залегают среди графитисто-кварцево-биотитовых, кварцево-серицитовых, тальково-хлоритовых сланцев и магнетитовых кварцитов костомукшской и гимольской серий верхнего архея [2]. Они приурочены к зоне глубинного разлома близкого к меридиональному направления и имеют преимущественно северо-западное (350°-355°) простирание с падением на северо-восток под углом 70°-80°. Здесь выделяются ультраосновные, основные и салические существенно лейцитовые лампроиты. Возраст лампроитов определен 1230 млн.лет, а их глубинный источник согласно изотопной Sr-Nd систематике соответствует обогащенному мантийному резервуару EM I [5].

В данной работе приведены результаты изотопного изучения ранее не известных дайковых пород, также установленных в Костомукшском карьере и их сравнению с ранее полученными характеристиками для типичных лампроитов.

В отличие от всех известных ранее даек карьера, их простирание субширотное северо-восточное. Породы, слагающие дайки имеют резко переменный состав в пределах интрузивных тел, им свойственна значительная карбонатизация, иногда окварцевание. Они имеют определенные черты сходства с лампроитами Костомукши, но по ряду признаков ближе по составу к лампроитам миаскитового ряда. Основной породообразующий минерал пород, слагающих дайки, – магнезиальная слюда, поэтому в данной работе они названы слюдитами [1].

Возрастные и генетические отношения между несколькими контрастными по составу дайковыми сериями, известными в Костомукшском карьере, не достаточно ясны, хотя минералогические и петрологические данные предполагают некоторую разницу между ними.

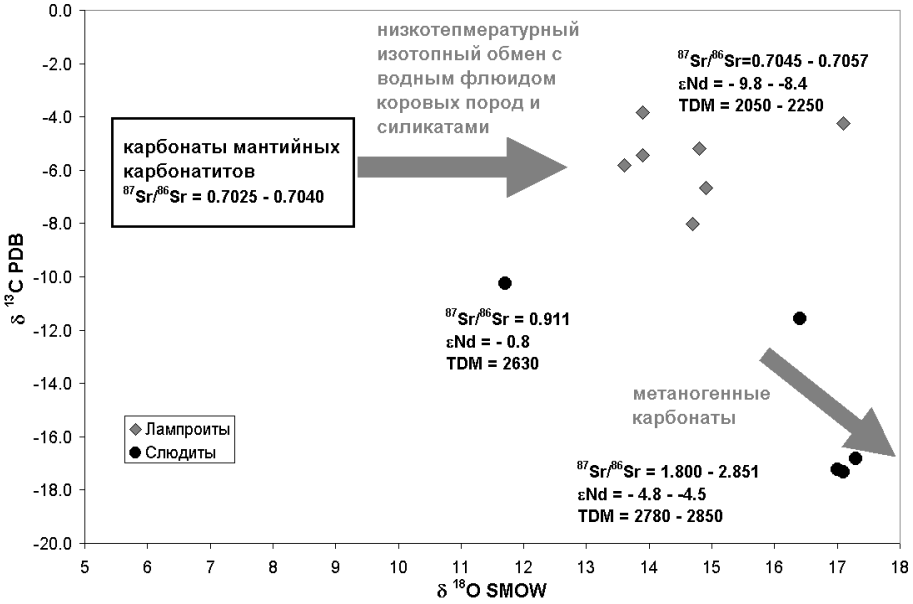
Мы изучили изотопный состав углерода и кислорода для того, чтобы охарактеризовать состав и генезис породообразующих флюидов, а также Rb-Sr и Sm-Nd изотопные системы в слюдах из слюдитов. Для лампроитов данные были получены ранее [5].

Полученные изотопные данные суммированы на рис. и указывают на контрастные различия пород. В карбонатах из лампроитов содержится углерод с типично мантийным $\delta^{13}C$, а большая, по сравнению с карбонатитами величина $\delta^{18}O$, своим происхождением обязана низкотемпературным процессам взаимодействием флюид-порода на постмагматической стадии [11]. Для карбонатов из слюдитов характерен изотопный состав углерода и кислорода в «метаногенных» карбонатах (возникших в результате окисления метана), что определяет исключительно низкие величины $\delta^{13}C = -15 – -18‰$ [8].

Начальный состав стронция в лампроитах близок к таковому, наблюдаемому в мантийных карбонатитах, а величины εNd(T) указывают на то, что они произошли из обогащенного мантийного источника EM I. При том, что возраст внедрения лампроитов составляет 1230 млн. лет, модельный возраст источника около 2 млрд. лет [5]. Для слюдитов характерны исключительно высокие начальные отношения для стронция ($(^{87}Sr/^{86}Sr)_i > 1$) и отрицательные величины εNd(T). Rb-Sr датирование слюдитов позволило установить, что их возраст составляет примерно 2 млрд. лет, а исследование Sm-Nd системы указывает на модельный возраст источника порядка 2,7 млрд. лет. Таким образом, модельный возраст лампроитов и возраст внедрения слюдитов совпадают, т.е. образование обогащенного мантийного источника лампроитов маркируется внедрением слюдитов, представляющих собой, по-видимому, гибридные породы (смесь мантийного и нижнекорового вещества).

Принимая начальный изотопный состав стронция для этого вещества 0,715, мы рассчитали, что за время 0,7 млрд. лет (интервал 2,7 млрд. лет – 2 млрд. лет) для образования аномально высоких начальных отношений стронция, определенных по карбонатам из слюдитов, требуется, чтобы рубидий-стронциевое отношение в источнике находилось в пределах от 7 до 35. Это указывает на то, что источник слюдитов имеет коровою компоненту вещества (по составу типа калиевых гранитоидов), а присутствие метана во флюидной фазе определяется присутствием графита, что обычно для нижнекоровых гранулитов.

Изотопный состав углерода в графите из гранулитов составляет $\delta^{13}C = -20 – -31‰$ [3], а изотопный состав углерода метана, возникающего за счет реакции с водным флюидом при 450-700 °C примерно на 5‰ тяжелее и должен быть порядка $\delta^{13}C = -15 – -26‰$. Измеренные величины $\delta^{13}C$ в карбонатах из слюдитов отвечают этому диапазону, что подтверждает образование CO_2 флюида слюдитов и, соответственно карбонатов за счет окисления глубинного абиогенного метана.



Изотопная систематика C, O, Sr и Nd для слюдитов и лампроитов Костомукшского железорудного меторождения.

Поля изотопного состава углерода и кислорода карбонатов мантийных карбонатитов по [10], тренд изменения состава при низкотемпературном изотопном обмене по кислороду по [11], изотопный состав метаногенных карбонатов по [8]

В результате изучения слюдитов было установлено, что существует глубинный источник смешанного генезиса, доставлявший в верхние горизонты коры изотпно легкий углерод абиогенного генезиса. Примечательно, что возраст магматических производных этого источника около 2 млрд. лет, т.е. соответствует людиковийскому времени вулканизма и осадконакопления в палеопротерозое Балтийского щита. Полученные данные могут свидетельствовать, что накопление огромных количеств изотопно легкого углерода в осадочных комплексах людиковия связанно не столько с активностью биоты того времени, сколько с активизацией упомянутого глубинного нижнекорового источника за счет раннепротерозойского суперплюма.

ЛИТЕРАТУРА

1. Антонов А.В., Лохов К.И., Лукьянова Л.И., Прилепский Э.Б., Богомолов Е.С., Устинов В.Н. Геохимическая характеристика дайковых пород Костомукшского железорудного месторождения: систематика стабильных и радиогенных изотопов. // Разведка и Охрана недр, 2008, в печати.

2. Горьковец В.Я., Раевская М.Б., Белоусов Е.Ф., Инина К.А. Геология и металлогения района Костомукшского железорудного месторождения. Петразоводск «Карелия» 1981, 142 с.

3. Лохов К.И., Астафьев Б.Ю., Воинова О.А., Матуков Д.И., Антонов А.В., Прасолов Э.М., Прилепский Э.Б., Богомолов Е.С. Возраст и генезис раннедокембрийской графитовой минерализации лапландского гранулитового пояса (Кольский полуостров). // Региональная геология и металлогения, 2006, 28, с. 89-100.

4. Лохов К.И., Прасолов Е.М. Фракционирование изотопов углерода при гранулитизации земной коры и изотопные аномалии в осадочных комплексах. Материалы II Российской конференции по проблемам геологии и геодинамики докембрия «Гранулитовые комплексы в геологическом развитии докембрия и фанерозоя», СПб, ИГГД РАН 2-4 окт. 2007, Центр информационной культуры, 2007 , с.206-209.

5. Никитина Л.П., Левский Л.К., Лохов К.И., Беляцкий Б.В., Журавлев В.А., Лепехина Е.Н., Антонов А.В. Протерозойский щелочно-ультраосновной магматизм восточной части Балтийского щита. // Петрология, 1999, том 7, №3, с. 252-275.

6. Органическое вещество шунгитоносных пород Карелии. Петрозаводск, 1994. 207 с.

7. Полеховский Ю.С., Голубев А.И. Людиковийский надгоризонт Онежского прогиба // Проблемы стратиграфии нижнего протерозоя Карелии. Петрозаводск. Кар.ФАН СССР,1991, с.106-117.

8. Прасолов Э.М., Лохов К.И., Логвина Е.А., Мазуренко Л.Л., Соловьев В.А., Блинова В.Н., Иванов М.К. Происхождение карбонатов в районах современной подводной разгрузки флюидов по данным изотопной геохимии. // Региональная геология и металлогения, 2006, 28, с. 158-174.

9. Юдович Я.Э. Карельский изотопный феномен: неразгаданная тайна. // Вестник Инст. Геологии Коми НЦ УрО РАН, 2006, N2, 134, 480, с.9-12.

10. Keller J., Hoefs J. Stable isotopic characteristics of recent natrocarbonatites from Oldoinyo Lengai In: Bell K., Keller J. (Eds) Carbonatite volcanism: Oldoinyo Lengai and petrogenesis of carbonatites. Springler, Berlin. 1995. P. 113-123.

11. Wilson M.R., Kjarsgaard B.A., Taylor B. Stable isotope composition of magmatic and deuteric carbonate phases in hypabyssal kimberlite, Lac de Gras field, Northwest territories, Canada // Chemical Geology, 2007, v.242., p.435-454.