

Федеральное агентство научных организаций

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ ГЕОХИМИИ ИМ. А.П. ВИНОГРАДОВА СИБИРСКОГО
ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

УДК 550.42:546.027

№ госрегистрации 01201351654

УТВЕРЖДАЮ

Директор ИГХ СО РАН

чл.-корр. РАН

_____ В.С.Шацкий

« ____ » _____ 2014 г.

ОТЧЕТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

по теме:

Изотопно-геохимические свидетельства мантийно-корового взаимодействия и
рециклирования элементов

№ 0350-2014-0005

(промежуточный)

Научный руководитель темы

_____ чл.-к. РАН В.С. Шацкий

подпись, дата

Иркутск 2014

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Научный руководитель темы, член-
корр. РАН

В.С. Шацкий

подпись, дата

Ответственные исполнители темы:

член-корр. РАН

В.С. Шацкий (раздел 1)

подпись, дата

кандидат геолого-минералогических
наук

С.И. Дриль (раздел 2)

подпись, дата

УДК 550.42:546.027

Реферат

Отчет включает 17 стр., 4 илл., 12 ист.

Ключевые слова: плюмтектоника, изотопно-геохимические индикаторы, кимберлитовая трубка, магматические процессы, гранитообразование.

Главной целью исследования является выявление изотопно-геохимических свидетельств мантийно-корового взаимодействия в различных геодинамических обстановках и определение масштабов этого процесса.

Главным результатом исследований по проекту должна быть разработка системы изотопно-геохимических индикаторов массообмена и рециклирования элементов между коровым и мантийным резервуарами, которые должны способствовать совершенствованию моделей глубинной геодинамики и формирования континентальной коры.

В 2014 г. планировалось: определение геохимических особенностей и возраста ксенолитов нижнекоровых гранулитов U-Pb методом по циркону; определение изотопно (Sr-Nd-Pb) - геохимических характеристик и реконструкция источников вещества мезозойских внутриплитовых гранитоидов Амуджикано-Сретенского комплекса Восточного Забайкалья.

Содержание

Введение	5
Раздел 1 Изотопно-геохимические индикаторы рециклирования земной коры	6
Раздел 2 Изотопно-геохимические свидетельства процессов мантийно-корового взаимодействия во внутриконтинентальных складчатых поясах	10
Основные результаты проведённого исследования	14
Список публикаций по теме	15
Список использованных источников	16

Введение

Процессы мантийно-корового взаимодействия определяют направленность в эволюции силикатной Земли, образование и рост континентальной коры, рециклирование элементов, гетерогенность мантии.

Главной движущей силой дифференциации силикатной Земли является частичное плавление мантии. Этот процесс генерирует океаническую кору и, в конечном счете, континентальную кору и атмосферу. При частичном плавлении остается деплитированная мантия обедненная несовместимыми элементами. Однако эта деплитированная мантия непрерывно обогащается несовместимыми элементами и гетерогенность ее химического состава развивается, возможно, с самых ранних стадий развития Земли. До настоящего времени среди геохимиков отсутствует общая точка зрения на то, какой процесс является главным при обогащении деплитированной мантии: рециклирование океанической и континентальной коры; деляминация и образование континентальной литосферы; различные типы мантийного метасоматоза. Трассерами этих процессов являются долгоживущие радиогенные изотопы и несовместимые элементы.

Раздел 1. Изотопно-геохимические индикаторы рециклирования земной коры

1.1 Выяснение этапов формирования ювенильной коры Сибирского кратона на основе изотопно-геохимических исследований нижнекоровых ксенолитов из кимберлитовых трубок и роль островодужного вулканизма в этом процессе. Определение U-Pb возраста цирконов и изотопного состава гафния для определения этапности и продолжительности корообразующих процессов.

В отчетный период продолжено исследование нижнекоровых ксенолитов из кимберлитовых трубок Юбилейная (Алакит-Мархинское поле) и Ботуобинская (Накынское поле) Якутской алмазоносной провинции.

Из трубки Юбилейная исследовано 15 образцов, размером до 20 см. Ксенолиты представлены гранатовыми гранулитами – $\text{Grt-Cpx-Pl}\pm\text{Opx}\pm\text{Hbl}\pm\text{Scp}\pm\text{Ap}$. Размер ксенолитов в трубке Ботуобинская от 2 до 8 см. Среди исследованных 68 ксенолитов преобладают мафические ($\text{Pl}\pm\text{Grt}\pm\text{Cpx}\pm\text{Opx}\pm\text{Amf}\pm\text{Qtz}\pm\text{Kfsp}\pm\text{Scp}$) и фельзические гранулиты ($\text{Pl}\pm\text{Qtz}\pm\text{Vt}\pm\text{Opx}\pm\text{Grt}$).

Для оценки P-T параметров равновесия пород были использованы минеральные геотермометры и геобарометры, включающие равновесия с участием Grt, Cpx, Opx, Amp, Pl, Vt и Kfs. Температуры равновесия мафических гранатовых гранулитов, рассчитанных с помощью программы Termocalc, лежат в интервале 700-800°C, а давления 8-9.5 кбар. Более низкие величины температур (600-700°C) и давлений (6.5-8.8 кбар) получены при использовании ассоциации роговая обманка-плаггиоклаз.

P-T параметры равновесия дают основание предположить, что исследованные породы являются фрагментами нижней части земной коры. В то же время по температурам они лежат значительно выше кондуктивной геотермы щитов и близко к океанической геотерме. Это может объясняться тем, что рассчитанные P-T параметры равновесия отражают палеогеотерму на период последнего термального воздействия времени.

С целью определения термально-тектонических этапов в эволюции коры Якутской алмазоносной провинции проведено исследование цирконов из ксенолитов кимберлитовых трубок.

В Накынском кимберлитовом поле датировались цирконы из ксенолитов мафического Бт-39-03 ($\text{Gt}\pm\text{Pl}\pm\text{Cpx}\pm\text{Qt}$) и фельзического гранулитов Бт-7-03 ($\text{Grt}\pm\text{Qt}\pm\text{Vt}\pm\text{Pl}\pm\text{Opx}\pm\text{Ap}$) трубки Ботуобинская.

В фельзическом гранулите ряд цирконов в центральной части демонстрирует

осциляторную зональность. Морфология цирконов от удлиненно-призматической (1:2, 3.5) до округлой. На диаграмме с конкордией (рисунок 1) все точки ложатся на конкордию или вблизи конкордии. Наблюдается разброс конкордантных возрастов от 2630 до 2947 млн л. В то же время не наблюдается взаимосвязи значений возраста с внешней и внутренней морфологией цирконов. На графике относительной вероятности выделяется четыре пика, причем наиболее четко проявленные пики отвечают возрастам 2.78 и 2.7 млрд л. Разброс в значениях конкордантных образцов может объясняться удалением свинца или ростом цирконов при термальном воздействии.

Цирконы мафического гранулита Бт-39-03 образуют кластер на конкордии в интервале 2712-2772 млн л. со средневзвешанным значением 2745 млн л. На конкордию и вблизи конкордии с возрастом 2026 млн л. ложатся два зерна циркона. Часть зерен лежит на дискордии с верхним пресечением 2748 ± 33 и нижним 2028 ± 58 .



Рисунок 1. Диаграмма с конкордией для цирконов из образца фельзического гранулита Бт-7-03.

Можно предположить следующую модель. Протолит фельзического гранулита был переплавлен в мезоархее (2.95 млрд л), о чем свидетельствует возраст магматических цирконов. В 2.78 млрд л. в кору внедрялись расплавы основного состава. С этим термальным воздействием связана перекристаллизация зерен циркона или потеря свинца в ксенолите фельзического гранулита. Разброс конкордантных значений от 2772 до 2712 млн л. может быть обусловлен остыванием протолита мафического гранулита. Возраст нижнего

пересечения дискордии близок к возрасту амальгамации Сибирского кратона и интерпретируется как возраст метаморфизма.

Цирконы из мафического гранулита Юб-27-02 (Pl+Crpx+Grt+Opx+Amf) из трубки Юбилейная на катодолюминесцентных изображениях демонстрируют однородное внутреннее строение. Они дают конкордантное значение $1832 \pm 5,8$ млн л. $\epsilon_{\text{Hf}}(T)$ в пяти зернах циркона имеет отрицательные значения и варьирует в сравнительно узких пределах от -8.9 до -6.8. Принимая для расчетов среднее коровое значение Lu/Hf отношения равное 0.015 [Griffin et al., 2002] коровый модельный возраст T_{DM}° (предполагая отделение вещества от деплетированной мантии) для этого образца составляет ~2.95 млрд лет. Однородное внутреннее строение цирконов и отсутствие осциляторной зональности свидетельствует о том, что цирконы имеют метаморфический генезис, а небольшой разброс в значениях $(^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf})_i$ от 0.281347 до 0.281407 вероятно связан с небольшой гетерогенностью исходного протолита или кристаллизацией цирконов в протолите во время разных магматических пульсов [Griffin et al., 2002].

Таким образом, с учетом полученных ранее данных по мафическим гранулитам из кимберлитовых трубок Удачная и Ленинградская, можно сделать вывод о том, что основная часть нижней мафической коры Якутской алмазоносной провинции была сформирована в несколько этапов в архее. В процессе амальгамации Сибирского кратона эти породы претерпели этап метаморфизма в ходе которого магматические цирконы были прекристаллизованы и только в редких зернах система не была полностью переуравновешена. Цирконы из фельзических гранулитов и гнейсов свидетельствуют о нескольких этапах переплавления коры с добавлением ювенильного материала.

1.2 Определение подвижности элементов в зонах субдукции и состава отделяющихся от субдуцируемой плиты растворов/расплавов по результатам изучения изотопно-геохимических особенностей пород из метаморфических комплексов высоких и сверхвысоких давлений.

Продолжено исследование обнаруженных в районе озера Барчинское в элювиальных отложениях обломков высокоглиноземистых гранат-кианит-слюдяных сланцев и гранат-кианит-кварцевых гранофельсов, в том числе алмазоносных. По содержанию главных элементов исследованные породы отвечают глинистым сланцам. Гранат-кианит-кварцевые гранофельсы содержат значительно меньше калия (0.49-1.35% K_2O) по сравнению с гранат-кианит-слюдяными сланцами (4.9-2.2 % K_2O), в то же время по остальным главным

компонентам значительных различий не наблюдается.

Проведенные исследования показали, что большинство гранат-кианит-мусковитовых сланцев имеет характер распределения РЗЭ, близкий к постархейскому австралийскому сланцу РЗЭ (\bar{x} (La/Yb) – 13). В то же время все гранат-кианит-кварцевые гранофельсы значительно сильнее деплетированы легкими РЗЭ (\bar{x} – (La/Yb) – 1.4) и другими некогерентными элементами. Установлен следующий ряд подвижности элементов в зоне континентальной субдукции Th>Ce>La>Pr>Nd>K>Ba>Rb>Cs>Sm>Eu.

Основными концентраторами LREE и Th в гранат-кианит-слюдяных сланцах являются алланит и монацит. В гранат-кианит-кварцевых гранофельсах в качестве акцессорных фаз присутствуют рутил, апатит и ксенотим. Рутил характеризуется большими вариациями примесей ниобия, тантала и ванадия. В отдельных участках содержание ниобия достигает 10.5 %, а тантала 2.3 %. На регрессивной стадии из рутила выпадали оксиды титана, содержащие до 20.8% Nb₂O₅. Высокие температуры равновесия (>850°C), минералогический состав и степень деплетированности гранат-кианит-кварцевых гранофельсов предполагают их частичное плавление в присутствии флюида. Разная степень деплетированности высокоглиноземистых пород может объясняться локальным поступлением внешнего флюида, либо разными температурами метаморфизма.

Первыми фазами, растворявшимися при плавлении гранат-кианит-слюдяных сланцев, были алланит и монацит. Об это свидетельствует образец гранат-кианит- слюдяного сланца Б-11-9, предельно деплетированный только в отношении легких РЗЭ (La/Yb – 0.94), который в то же время по содержанию крупноионных литофильных элементов аналогичен недеплетированным породам.

Раздел 2 Изотопно-геохимические свидетельства процессов мантийно-корового взаимодействия во внутриконтинентальных складчатых поясах

2.1 В отчетный период получены и интерпретированы данные Rb-Sr изотопной систематики, характеризующие породы Кара-Чачинского и Сретенского массивов амуджикано-сретенского гранитоидного комплекса, завершающего этап постагрегационного развития Монголо-Охотского пояса (МОП) в районе Восточного Забайкалья. Возраст Кара-Чачинского массива по Rb-Sr геохронологическим данным составляет 132 ± 12 МА ($I(0)Sr = 0.70839 \pm 19$, СКВО = 0.061), что соответствует раннему мелу. Для гранитоидов Сретенского массива амуджикано-сретенского комплекса получена Rb-Sr изохрона с возрастом 148 ± 12 МА ($I(0)Sr = 0.70727 \pm 26$, СКВО = 1.9), что соответствует границе поздней юры и раннего мела. Величины $^{87}Sr/^{86}Sr$ в исследованных гранитоидах свидетельствуют о том, что в качестве исходного протолита для пород Кара-Чачинского и Сретенского массивов могли выступать как вулканогенно-осадочные толщи агрегационного клина МОП (кулиндинская свита), так и палеозойские гранитоиды олекминского комплекса Западно-Станового террейна МОП (рисунок 2).

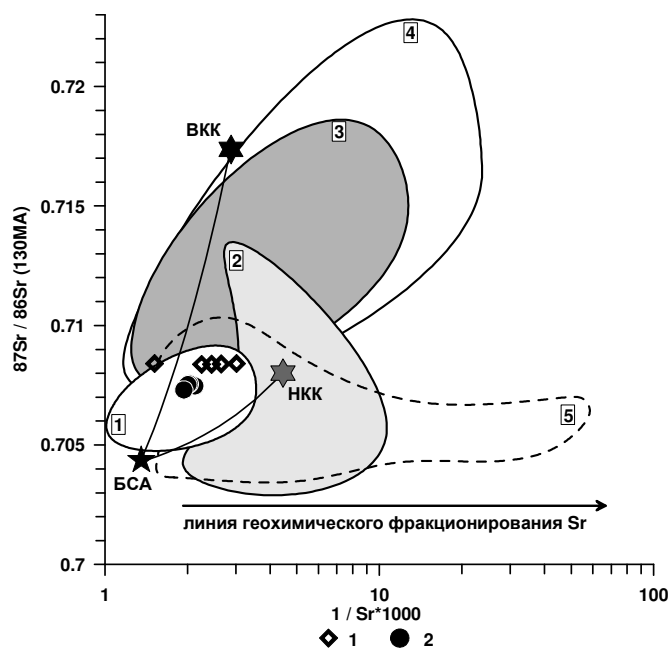


Рисунок 2. Зависимость величины $^{87}Sr/^{86}Sr$ (130МА) от обратного содержания стронция для гранитоидов амуджикано-сретенского комплекса: 1 – Кара-Чачинский и 2 – Сретенский массивы амуджикано-сретенского комплекса. Полями околнурены составы: 1 – гранулитов ЦАСП [Barry et al., 2003]; 2 – осадочных пород современных активных континентальных окраин [McLennan et al., 1990]; 3 – осадочных пород современных пассивных континентальных окраин [McLennan et al., 1990]; 4 – осадочных пород террейнов агрегационной призмы Монголо-Охотского пояса; 5 – базитов из агрегационной призмы Монголо-Охотского пояса; БСА – средний состав внутриплитного базальта Северной Азии [Ярмолюк, Коваленко, 2000]; процессы смешения основного мантийного вещества с веществом верхней (ВКК) и нижней континентальной коры (НКК) намечены линиями смешения БСА-ВКК и БСА-НКК соответственно.

Вариации Sr-Nd изотопных характеристик как внутриплитовых, так и коллизионных гранитоидов МОП (рисунок 3) могут быть объяснены с позиций смешения эндогенного вещества пород комплексов ювенильной коры МОП (магматиты островных дуг, офиолиты, гранулиты нижних горизонтов коры, производные мантийных расплавов внутриплитовой природы) и гипотетического среднекорового компонента, имеющего $\epsilon Nd(t) = -2 - (-5)$.

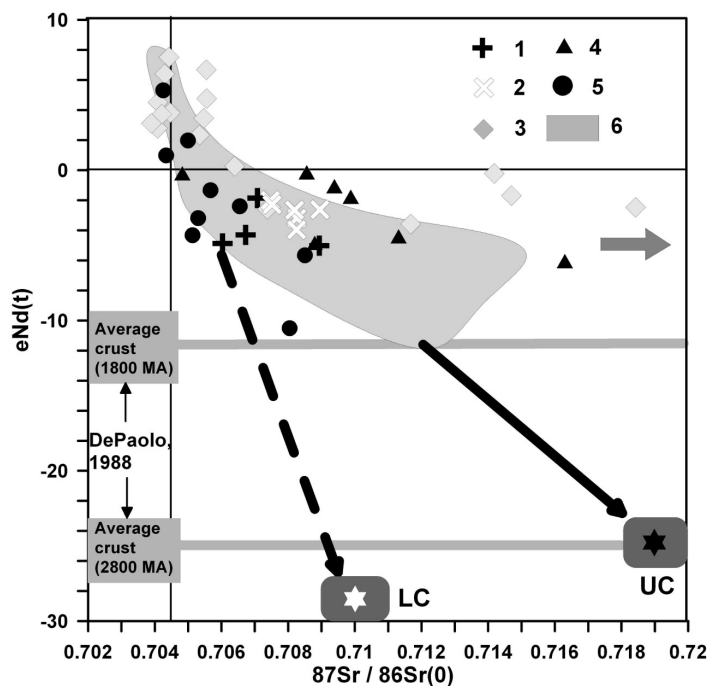


Рисунок 3. Диаграмма зависимости изотопного состава неода и стронция в координатах $eNd(t)$ - $87Sr/86Sr(0)$ для коллизионных и внутриплитовых гранитоидов МОП: 1 – коллизионные граниты ундинского комплекса; 2 – внутриплитовые граниты амуджикано-сретенского комплекса; 3 – островодужные вулканогенно-осадочные образования МОП; 4 – метаосадочные породы аккреционного клина МОП; 5 – нижнекоровые гранулиты ЦАСП; 6 – область составов фанерозойских гранитоидов орогенного пояса юго-западной Японии [Вог Min Jan, 2010].

Sm-Nd изотопная система предоставляет дополнительную важную информацию об источнике коровых магматических образований. Ранее было показано [Коваленко и др., 1999, Ярмлюк и др., 1999, Дриль и др., 2007, Дриль и др., 2009], что изотопные метки рифейской изотопной коровой провинции Центральной Азии являются преобладающими для большинства осадочных образований и гранитоидов МОП. Это может служить свидетельством того, что позднепалеозойские и мезозойские корообразующие процессы в пределах этого складчатого пояса приводили лишь к переработке уже существовавшего более древнего корового вещества. Полученные Sm-Nd изотопные характеристики гранитов Сретенского и Верхне-Голготайского массивов ($TNd(DM-2)=1133-1109$ МА) и вмещающих метатерригенных пород аккреционного клина ($TNd(DM-2)=1636-1048$ МА) близки и указывают на принадлежность как гранитоидов, так и метаосадков к рифейской изотопной коровой провинции Центральной Азии (рисунок 4). Близость Sm-Nd изотопных характеристик гранитоидов и вмещающих метатерригенных пород может служить подтверждением возможной тесной генетической взаимосвязи гранитоидов и вмещающего их субстрата.

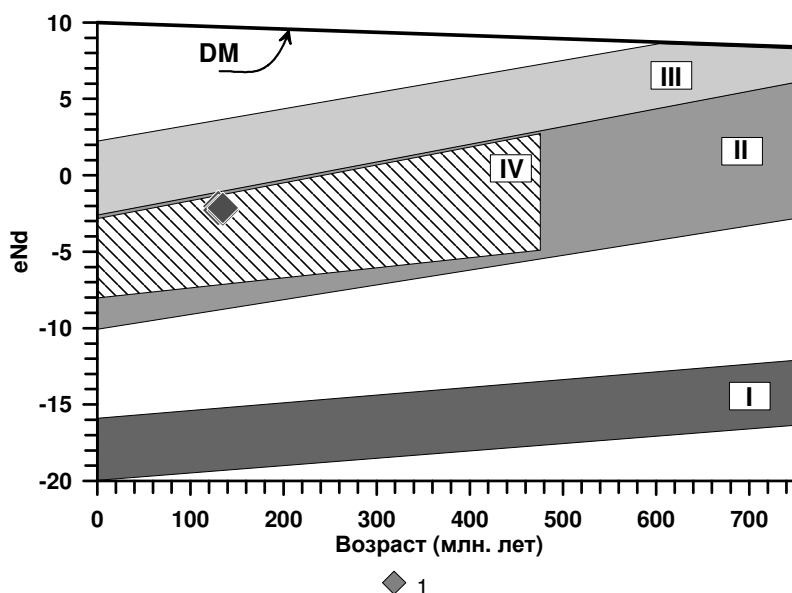


Рисунок 4. Эволюционная диаграмма eNd-возраст (МА) для гранитоидов амуджикано-сретенского комплекса Восточного Забайкалья: 1 – гранитоиды Сретенского и Верхне-Голготайского массивов. Римскими цифрами обозначены поля эволюции изотопного состава Nd в архейской (I), рифейской (II) и каледонской (III) коровых провинциях ЦАСП [Коваленко и др., 1999, Рыцк и др., 2007], а также в метаосадочных образованиях аккреционного клина МОП (IV).

2.2 Исследование микроэлементного и изотопного состава Pb во вкрапленниках калиевого полевого шпата гранитоидов амуджикано-сретенского и борщевочного комплексов.

Микроэлементный состав (Rb, Sr, Ba, Pb, Th, U) вкрапленников КПШ из гранодиоритов Сретенского, Верхне-Голготайского массивов амуджикано-сретенского и Ургучанского массива борщевочного комплексов свидетельствует о кристаллизации минерала из слабо дифференцированного гранитоидного расплава, т.к. для КПШ характерно резкое преобладание Ba над Rb и Sr, а также Th и, отчасти, Pb, над U [Dostal, Chatterjee, 2010]. Спектры распределения REE в КПШ сильно дифференцированы в той же степени как и во вмещающих гранитах: $La/Yb(N)_{КПШ} = 22-32$ при $La/Yb(N)_{гранит} = 23-34$, при существенно более низком уровне накопления REE. Все исследованные КПШ имеют резко выраженные положительные европиевые максимумы ($Eu/Eu^*_{КПШ} = 2.5-19$) при слабо проявленной отрицательной аномалии во вмещающих гранитах ($Eu/Eu^*_{гранит} = 0.68-0.85$). Все эти геохимические признаки свидетельствуют о том, что вкрапленники КПШ являются ранними кристаллическими фазами гранитоидного расплава на начальных стадиях его дифференциации. Это позволяет рассматривать обозначенную минеральную фазу как потенциально важный изотопно-геохимический репер, характеризующий начальные стадии эволюции гранитоидных расплавов постааккреционного типа.

Изотопный состав свинца вкрапленников КПШ близок к таковому в пиритах месторождений Карийской РМС, что указывает на несомненное сходство источников свинца для гранитоидов амуджикано-сретенского комплекса и золоторудных систем с

ними связанных. Как и для рудных свинцов, фигуративные точки составов свинца КПШ на диаграмме в координатах $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} - ^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ образуют вытянутый тренд от линии изотопной эволюции свинца в деплетированном мантийном источнике к области изотопного состава свинца орогенов, т.е. ювенильной коры МОП, что указывает на процесс смешения свинца «мантийного» генезиса со свинцом, имеющим изотопные характеристики молодой континентальной коры «орогена».

Основные результаты проведённого исследования

Исследование U-Pb методом цирконов из мафических и фельзических ксенолитов кимберлитовых трубок Ботуобинская (Накынское поле) и Юбилейная (Алакит-Мархинское поле) позволило выделить три термально-тектонических этапа в эволюции нижней коры. Первый этап, свидетельствующий о плавлении пород нижней коры в мезоархее (2,9 млрд л), фиксируется только в фельзических гранулитах. В мезоархее (2,75 млрд л), при внедрении в нижнюю кору расплавов основного состава, наблюдалось переплавление пород нижней коры кислого состава. В палеопротерозое (2 млрд л) породы нижней коры претерпели метаморфизм, связанный с процессами амальгамации террейнов Сибирского кратона.

Полученные модельные Sm-Nd изотопные возрасты гранитов амуджикано-сретенского комплекса $T_{Nd}(DM-2)=1133-1109$ МА и вмещающих метатерригенных пород аккреционного клина Монголо-Охотского пояса – $T_{Nd}(DM-2)=1636-1048$ МА, близки и указывают на принадлежность как гранитоидов, так и метаосадков к рифейской изотопной коровой провинции Центральной Азии, что может служить подтверждением тесной генетической взаимосвязи гранитоидов и вмещающего их субстрата.

Список публикаций по теме

1. Shatsky V.S., Zedgenizov D.A., Ragozin A.L., Kalinina V.V. Carbon isotopes and nitrogen contents in placer diamonds from the NE Siberian craton: implications for diamond origins // *European journal of mineralogy*, 2014, V. 26, № 1, P. 41-52.
2. Zedgenizov D.A., Kagi H., Shatsky V.S., Ragozin A.L. Local variations of carbon isotope composition in diamonds from Sao-Luis (Brazil): Evidence for heterogenous carbon reservoir in sublithospheric mantle // *Chemical Geology*, 2014, V. 363, P. 114-124.
3. Zedgenizov D. A., Shatskiy A., Ragozin A.L., Kagi H. and Shatsky V.S. Merwinite in diamond from São Luiz, Brazil: A new mineral of the Ca-rich mantle environment // *American Mineralogist*, 2014, V. 99, № 2-3, P. 547-550.
4. Рагозин А.Л., Зедгенизов Д.А., Шацкий В.С., Орихаши Ю., Агашев А.М., Каги Х. U-Pb-возраст рутила из ксенолита эклогита кимберлитовой трубки Удачная // *Доклады Академии наук*, 2014, Т. 457, № 2, С. 213-216.
5. Шацкий В.С., Скузоватов С.Ю., Рагозин А.Л., Дриль С.И. Свидетельства неопротерозойской континентальной субдукции в Байкало-Муйском складчатом поясе // *Доклады Академии наук*, 2014, Т. 459, № 2, С. 228-231.
6. Тарарин И.А., Бадрединов З.Г., Дриль С.И., Чубаров В.М., Герасимов Н.С., Сандиминова Г.П., Ильина Н.Н. Петрология и геохимия мелового гранитоидного магматизма Центральной Камчатки (на примере Крутогоровского и Кольского интрузивных комплексов) // *Петрология*, 2014, Т. 22, № 6, С. 635-664.

Список использованных источников

1. Griffin W L, Wang X, Jackson S E, Pearson N J, O'Reilly S Y, Xu X S and Zhou X M Zircon chemistry and magma mixing, SE China: In-situ analysis of Hf isotopes, Tonglu and Pingtan igneous complexes // *Lithos*, 2002, 61 (3-4), P. 237-269.
2. Barry T.L., Saunders A.D., Kempton P.D., Windley B.F., Pringle M.S., Dorjnamjaa D., Saandar S. Petrogenesis of Cenozoic basalts from Mongolia: evidence for the role of the asthenospheric mantle sources // *Journal of Petrology*, 2003, Vol. 44, No. 1, P.55-91
3. McLennan S.M., Taylor S.R., McCulloch M.T., Maynard J.B. Geochemical and Nd-Sr isotopic composition of deep-sea turbidites: Crustal evolution and plate tectonic associations // *Geochem. Cosmochem. Acta*, 1990, V. 54, P. 215-250.
4. Ярмолюк В.В., Коваленко В.И. Геохимические и изотопные параметры аномальной мантии Северной Азии в позднем палеозое – раннем мезозое (данные изучения внутриплитного базитового магматизма// *ДАН*, 2000, Т. 375, № 4, С. 525-530.
5. Bor-Ming Jahn. Accretionary orogen and evolution of the Japanese island – implications from a Sr-Nd isotopic study of the Phanerozoic granitoids from SW Japan // *American Journal of Science*, 2010, Vol. 310, P. 1210-1249.
6. Коваленко В.И., Костицын Ю.А., Ярмолюк В.В. и др. Источники магм и изотопная (Sr, Nd) эволюция редкометальных Li-F гранитоидов // *Петрология*, 1999, Т. 7, № 4, С. 401-429.
7. Ярмолюк В. В., Коваленко В.И., Ковач В.П. и др. Nd-изотопная систематика коровых магматических протолитов Западного Забайкалья и проблема рифейского корообразования в Центральной Азии // *Геотектоника*, 1999, № 4/б, С. 3-20.
8. Дриль С.И., Казимировский М.Э., Сандимирова Г.П., Семенова Ю.В. Sr-Nd изотопная систематика и геохимическая типизация метатерригенных пород кулиндинской, ононской и чиндантской свит Восточного Забайкалья // *Проблемы геохимии эндогенных процессов и окружающей среды / Материалы Всероссийской научной конференции. Т. 2. 24-30 сентября 2007. г. Иркутск. С. 79-83.*
9. Дриль С.И., Сандимирова Г.П., Татриков С.А., Казимировский М.Э. Sr-Nd изотопная и геохимическая характеристика проб островных комплексов Монголо-Охотского складчатого пояса // *Изотопные системы и время геологических процессов. Материалы IV Российской конференции по изотопной геохронологии. Т. 1. С.-Петербург, 2009, С.166-168*

10. Рыцк Е.Ю., Ковач В.П., Ярмолюк В.В., Коваленко В.И. Изотопные провинции и этапы формирования континентальной коры Байкало-Муйского пояса: Sm-Nd-изотопные данные по гранитоидам и кислым вулканитам // Доклады Академии наук, 2007, Т. 416, № 3, С. 374-379.

11. Dostal J., Chatterjee A.K. Lead isotope and trace element composition of K-feldspars from peraluminous granitoids of the Late Devonian South Mountain Batholith (Nova Scotia, Canada): implications for petrogenesis and tectonic reconstruction // Contributions to Mineralogy and Petrology, 2010, V.159, № 4, P. 563-578.