

Sm-Nd ВОЗРАСТ ГРАНАТОВЫХ АМФИБОЛИТОВ В ПОДОШВЕ ХАБАРНИНСКОГО МАФИТ-УЛЬТРАМАФИТОВОГО АЛЛОХТОНА И ПРОБЛЕМА ФОРМИРОВАНИЯ ОФИОЛИТОВЫХ ШАРЬЯЖЕЙ В САКМАРСКОЙ ЗОНЕ ЮЖНОГО УРАЛА

Е.В. Пушкарев, П.А. Серов, А.П. Бирюзова

Большинство известных офиолитовых комплексов залегают в современных структурах в виде аллохтонных пластин, надвинутых на слабометаморфизованные осадочно-вулканогенные отложения континентальных окраин [Руженцев, 1976]. Важным элементом таких аллохтонов является присутствие в подошве надвигов метаморфических пород высоких ступеней метаморфизма, вплоть до гранулитовой фации или целого метаморфического комплекса с инвертированной зональностью. Мощность метаморфических пород в подошве аллохтонов не бывает значительной и обычно не превышает 1-2 км. Большинство исследователей считает, что эти метаморфические породы образовались в результате транспортного или динамического метаморфизма, сопровождающего обдукцию офиолитов. На Урале такие метаморфические комплексы хорошо известны и подробно описаны как в полярном секторе пояса, в Войкар-Сыньинском, Сыумкеусском и др. массивах, так и на его южном окончании в Кемпирсайском и др. офиолитовых массивах [Ефимов, 1984; Ефимов, Потапова, 2000, и др.]. Есть все основания предполагать, что время проявления динамометаморфизма в подошве аллохтонов должно совпадать с возрастом самих шарьяжей.

В Хабаровинском полиформационном мафит-ультрамафитовом аллохтоне, большую часть которого составляют породы офиолитовой ассоциации, зона динамотермальных амфиболитов северо-западного фрагмента (балка Сучково) была подробно описана С.Ф. Соболевым и Н.А. Панеях [Соболев, Панеях, 1983, 1992]. Авторами было показано, что породы соответствуют эпидот-амфиболитовой фации метаморфизма ($T = 400-450^{\circ}\text{C}$, $P = 3-4$ кбар) и сформировались по субщелочным океаническим базальтам. С.Ф. Соболев и Н.А. Панеях отмечают, что самым неопределенным вопросом является проблема возраста амфиболитов из-за отсутствия прямых определений. Поэтому целью данной работы является изотопное датирование амфиболитов, залегающих в восточном обрамлении Хабаровинского аллохтона. Мета-

морфические породы прослежены по простиранию более чем на 20 км. Видимая мощность комплекса составляет в среднем около 1 км. Под разными углами породы погружаются на запад под массив. Уровень метаморфизма вулканогенных и терригенных пород варьирует от эпидот-амфиболитовой фации на удалении от массива до верхов амфиболитовой и гранулитовой фации в непосредственной близости от него. Породы испытывают интенсивные пликативные деформации, вплоть до образования изоклинальных и лежащих складок разного порядка. Мы считаем, что метаморфизм и деформации связаны с обдукцией перидотитовой пластины, поэтому датирование этих пород интересно не только с точки зрения реконструкции метаморфических событий, но и для установления времени проявления офиолитовых надвигов в Сакмарской зоне Южного Урала. Геологическое строение метаморфического комплекса описано в опубликованных работах [Бирюзова, Пушкарев, 2004, 2005; Пушкарев и др., 2004].

В качестве объекта для изотопно-геохронологических исследований были выбраны гранатовые амфиболиты в верховьях балки Холодный ключ, примерно в 6 км к юго-западу от пос. Хабаровый. Гранатовые амфиболиты залегают в верхнем, висячем боку метаморфического комплекса и переслаиваются здесь с обычными амфиболитами, кварцито-гнейсами и кварцитами, погружающимися на запад под массив. Координаты этого обнажения $51^{\circ}05', 611'$ северной широты и $58^{\circ}09', 964'$ восточной долготы (система координат Пулковская). Отметим, что гранатовые амфиболиты сходного состава прослежены нами на продолжении этой зоны к югу на протяжении более 4 км. Амфиболиты характеризуются интенсивными пликативными деформациями и признаками начального анатексиса, с обособлением плагиогранитного материала в виде мигматитов и отдельных секущих жил. Параметры метаморфизма соответствуют верхам амфиболитовой фации умеренных давлений, $T = 650-850^{\circ}\text{C}$, $P = 5-6$ кбар [Бирюзова, Пушкарев, 2004].

Главными породообразующими минералами гранатовых амфиболитов являются: высокожелезистый гастингсит буровато-зеленого и зеленовато-синего цвета (30-50 %), буровато-красный гранат, кварц и андезин. В виде реликтов внутри гастингсита встречаются ферроавгит и грюнерит. В количестве до нескольких процентов в породе присутствует ильменит. Акцессорные минералы представлены апатитом и цирконом. Главной петрохимической особенностью гранатовых амфиболитов является очень высокое содержание суммарного железа ($\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$), достигающее 22 мас. %, при повышенном уровне кремнезема 53-58 мас. %. Породы обладают высокой железиостью ($\text{Fe}/(\text{Fe} + \text{Mg}) > 0.75$). Особенности химического состава гранатовых амфиболитов заставляют отказаться от мысли о магматической природе протолита и предположить более сложный, скорее всего, смешанный (туфогенно-осадочный?) состав субстрата.

Изотопное датирование было проведено Sm-Nd методом в лаборатории Геологического института КНЦ РАН (г. Апатиты) на семиканальном термоионизационном масс-спектрометре Finnigan MAT-262 (RPQ) в статическом режиме. Измеренные отношения были нормализованы с помощью отношения $^{148}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0,241570$, а затем пересчитаны на отношение $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ в стандарте LaJolla = 0,511833. Химическая подготовка проб осуществлялась по

методике [Журавлев и др., 1987]. За период измерений средние значения отношений изотопов неодима составило по стандартам LaJolla ($N = 11$) $= 0,511833 \pm 6 (2\sigma)$ и JNd1 ($N = 44$) $= 0,512074 \pm 8 (2\sigma)$. Холостое внутрилабораторное загрязнение по Nd равно 0,3 нг и 0,06 нг по Sm. Величины погрешностей определения отношений $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd} = 0,2 \%$, а $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0,0024 \%$. Расчеты параметров изохрон проводились с использованием программы ISOPLOT 3,0 [Ludwig, 1999]. Измерения проводились для валового состава породы и монофракций граната, амфибола и апатита, а также смешанного кварц-полевошпатового концентрата. Все полученные значения представлены в таблице. Расчет по всем пяти точкам приводит к неудовлетворительному результату, со значительными отклонениями от среднего значения возраста и экстремально высоким значением MSWD. Однако, если не включать в расчет пробу кварц-полевошпатового концентрата, характеризующуюся наименьшим Sm/Nd отношением и высокой ошибкой в определении $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ отношения, то остальные четыре точки дают хорошую изохронную зависимость в координатах $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} - ^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$, с растяжкой $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ отношения от 0,174745 до 0,483983. Средний возраст по четырем точкам равен $415,2 \pm 7,6$ млн лет, а среднеквадратичное отклонение составляет 1,3 (рис. 1). Первичное отношение $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_i = 0,512497 \pm 0,000015$. ϵNd для полученного возраста, равно 7,7.

Нетрудно заметить, что основной вклад в растягивание изохроны вносит проба граната с максимальным $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ отношением. Однако, пересчет изохроны только по трем точкам (валовой состав амфиболитов, амфибол и апатит, с наименьшими $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ отношениями) дает средний возраст, равный 457 ± 59 млн лет, при среднеквадратичном отклонении $\text{MSWD} = 0,72$ и первичном отношении $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_i = 0,512443 \pm 0,000078$, что с учетом ошибки совпадает с расчетом по четырем точкам, приведенным выше. Таким образом, расчет по четырем точкам, обладающим наилучшим совпадением с изохро-

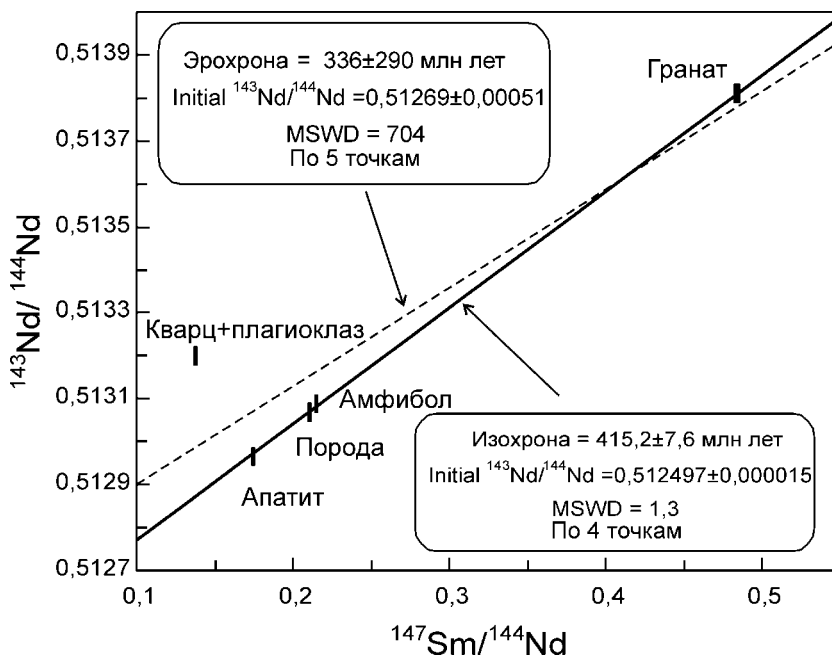


Рис. 1. Изохронная диаграмма $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} - ^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ для гранатового амфиболита (Хб-1790) и мономинеральных фракций апатита, амфибола, граната и кварц-полевошпатового концентрата, выделенных из этой породы.

ной зависимостью мы принимаем за возраст гранатовых амфиболитов, равный $415,2 \pm 7,6$ млн лет.

Обсуждение результатов. Полученные нами первые Sm-Nd данные о верхнесилурийском возрасте гранатовых амфиболитов в подошве Хабаровинского мафит-ультрамафитового аллохтона практически идеально сопоставляются с ранее определенным K-Ar возрастом амфиболитов из скважины № 485, пробуренной в нескольких километрах севернее и вскрывшей амфиболиты непосредственно среди пироксенитов восточно-хабаринского комплекса, подстилающего с востока офиолитовую пластину [Пушкарев, Калеганов, 1993]. Сходным возрастом, равным 410 ± 6 млн лет, определенным по циркону методом LA-ICP-MS, обладают и мигматизированные амфиболиты урочища Жарлы-Бутак в юго-западном экзоконтакте Кемпирсайского офиолитового массива [Краснобаев и др., 2004]. Таким образом, можно довольно уверенно говорить о верхнесилурийском возрасте динамометаморфизма, связанного с обдукцией гигантских офиолитовых аллохтонов в Сакмарской зоне Южного Урала.

Эти данные противоречат представлениям о том, что с конца ордовика до среднего девона включительно в Сакмарской зоне не происходило образования шарьяжей, поскольку в это время отмечается относительно спокойное осадконакопление в разных фациальных обстановках [Иванов, 1998; Пучков, 2000]. Если принять это утверждение то следует предположить, что офиолитовые аллохтоны как минимум дважды были тектонически перемещены. На первом этапе, соответствующему верхнему силуру, перидотиты были надвинуты на вулканогенно-терригенную толщу, с образованием амфиболитов разного состава, включая описанные выше гранатовые разности. Геологическое и географическое местоположение этой толщи в такой модели остается неясным, но она не должна была располагаться в Сакмарской зоне, поскольку образования шарьяжей в это время, согласно представлениям В.Н. Пучкова и К.С. Иванова, здесь не происходит. На втором, верхнедевонско-каменноугольном этапе, офиолиты уже вместе с «приваренным» к ним комплексом метаморфических пород были повторно перемещены и надвинуты на отложения Сакмарской зоны.

Иная точка зрения высказывалась ранее С.В. Руженцевым [Руженцев, 1976], который предполагал, что уже в верхнем силуру в Сак-

марской зоне начинаются процессы сжатия, переходящие в верхнем девоне в шарьирование океанических комплексов на край Восточно-Европейской платформы. Эти же представления развиваются в современных работах [Руженцев, Самыгин, 2004], где доказывается, что в нижнем девоне уже происходило формирование олистостром и тектонических микститов в Сакмарской зоне. Исследования, проведенные в последнее время сотрудниками Геологического института РАН (Москва) в Сакмарской зоне Южного Урала, убедительно показывают существование здесь в среднем ордовике Губерлинской островной дуги. Возрастные определения осадочно-вулканогенных отложений губерлинской свиты сделаны на основе многочисленных новых сборов конодонтов [Рязанцев и др., 2005 и др.]. Правда, в отношении полярности зоны субдукции, ответственной за формирование Губерлинской дуги, разные авторы придерживаются взаимно противоположных представлений, которые мы не будем здесь комментировать. По мнению А.В. Рязанцева с соавторами, в силуру происходит отмирание Губерлинской дуги, восточнее которой закладывается новая субдукционная зона западной вергентности, приведшая к формированию Магнитогорской островодужной системы девонского возраста. Поскольку, метаморфическая толща, подстилающая Хабаровинский мафит-ультрамафитовый аллохтон, имеет довольно пестрый состав, где объединены и океанические, и островодужные, и метатерригенные породы, можно предположить, что мы имеем дело с фрагментом аккреционной призмы. Опираясь на новые Sm-Nd и, полученные ранее K-Ar и U-Pb данные о верхнесилурийском возрасте метаморфических пород в подошве офиолитовых аллохтонов Сакмарской зоны Южного Урала, можно заключить, что офиолиты были обдукционированы на аккреционную призму Губерлинской островной дуги, ордовикский возраст которой этому не противоречит.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 06-05-64795-а и 04-05-96009-р2004урал_а), целевой программы междисциплинарных проектов УрО РАН, СО РАН и ДВО РАН 2005 г, Интеграционного проекта СО РАН 210, гранта «Фонда содействия отечественной науке».

Список литературы

- Бирюзова А.П., Пушкарев Е.В. Высокометаморфизованные метаосадочные породы в обрамлении и в составе восточно-хабарнинского ультрамафит-мафитового комплекса (Южный Урал) // Геология и металлогения ультрамафит-мафитовых и гранитоидных интрузивных ассоциаций складчатых областей. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2004. С. 99-103.
- Бирюзова А.П., Пушкарев Е.В. Фрагменты гранулитовой ассоциации в подошве офиолитовых надвигов Сакмарской зоны Южного Урала (на примере Хабарнинского массива) // Петрография XXI века. Матлы междунар. (X всероссийского) петрографического совещ. Т. 4. Апатиты: КНЦ РАН, 2005. С. 56-58.
- Ефимов А.А. Габбро-гипербазитовые комплексы Урала и проблема офиолитов. М.: Наука, 1984. 232 с.
- Ефимов А.А., Потапова Т.А. Высокобарические метагабброидные комплексы в офиолитах Полярного Урала: Метаморфизм «против часовой стрелки» в связи с зоной палеозойской субдукции // Магматические и метаморфические образования Урала и их металлогения. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2000. С. 233-268.
- Журавлев А.З., Журавлев Д.З., Костицин Ю.А., Чернышов И.В. Определение самарий-неодимового отношения для целей геохронологии // Геохимия. 1987. № 8. С. 1115-1129.
- Иванов К.С. Основные черты геологической истории (1,6-0,2 млрд лет) и строения Урала. Автореф. докт. дис. (в форме научного доклада). Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 1998. 252 с.
- Краснобаев А.А., Беа Ф., Ферштатер Г.Б., Монтеро П. Возраст, морфология, геохимические особенности цирконов из базитов Урала (офиолиты, и Платиновый пояс) и ассоциированных с ними кислых пород // Геология и металлогения ультрамафит-мафитовых и гранитоидных интрузивных ассоциаций складчатых областей. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2004. С. 211-216.
- Пушкарев Е.В., Готтман И.А., Бирюзова А.П. Особенности геологического строения комплекса метаморфических пород в восточном экзоконтакте Хабарнинского массива на Южном Урале // Ежегодник-2003. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2004. С. 189-193.
- Пушкарев Е.В., Калеганов Б.А. К-Аг датирование магматических комплексов Хабарнинского габбро-гипербазитового массива (Южный Урал) // Докл. АН. 1993. Т. 328. № 2. С. 241-245.
- Пучков В.Н. Палеогеодинамика Южного и Среднего Урала. Уфа: Даурия, 2000. 146 с.
- Руженцев С.В. Краевые офиолитовые аллохтоны (Тектоническая природа и структурное положение). М.: ГИН АН СССР, 1976. 173 с.
- Руженцев С.В., Самыгин С.Г. Структура и тектоническое развитие области сочленения Восточно-Европейской платформы и Южного Урала // Геотектоника. 2004. № 4. С. 20-44.
- Рязанцев А.В., Борисенко Д.В., Дубинина и др. Общая структура Сакмарской зоны Южного Урала в районе медногорских колчеданных месторождений // Очерки по региональной тектонике. Том 1. Южный Урал. М.: Наука, 2005. С. 84-134.
- Соболев С.Ф., Панях Н.А. Природа зеленосланцево-амфиболитовых ассоциаций экзоконтактовых зон Хабарнинского офиолитового массива // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1983. № 9. С. 53-68.
- Соболев С.Ф., Панях Н.А. Приконтактный метаморфизм офиолитовых массивов Южного Урала // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1992. № 1. С. 22-42.
- Ludwig K.R. ISOPLOT/Ex – A geochronological toolkit for Microsoft Excel, version 2,05 // Berkeley Geochronological Center Special Publication. 1999. N 1a. 49 p.