

Sr-Nd СИСТЕМАТИКА ГРАНИТОИДОВ УФАЛЕЙСКОЙ ЗОНЫ (Ю.УРАЛ)**Ю.Л. Ронкин, Г.Ю. Шардакова, Е.С. Шагалов, О.П. Лепихина, О.Ю. Попова**

Краткая геология изученного объекта. Нижнеуфалейский гранитоидный массив локализован в центральной части Уфалейской зоны, представляющей собой блок, заключенный между окраиной континента и реликтами океанических структур. Согласно одной из точек зрения, западная часть Уфалейской зоны является краем фундамента Русской платформы, а восточная – глубинным срезом интенсивно меланжированной субдукционной зоны Урала [Иванов, 1998; Пучков, 2000]. Другие исследователи считают этот блок перемещенным «экзотическим» террейном, к Уралу отношения не имеющим [Нечеухин и др., 2000]. Суммируя все мнения, можно заключить, что современный облик Уфалейская зона приобрела в результате аккреции, рифтогенеза, субдукции и коллизии [Алексеев, 1984; Иванов, 1998; Кейльман, 1974; Нечеухин и др., 2000; Ферштатер и др.,

1994; Пучков, 2000]. В соответствии с наблюдаемыми литологическими и метаморфическими особенностями эволюции, Уфалейская зона разделяется на две структурные единицы – восточную и западную [Echtler et al., 1997; Иванов, 1998]. В строении обеих частей важную роль играют кислые магматические (и орто-) породы. Наиболее древние из них – гранито-гнейсы центральной части Западно-Уфалейской зоны, включаемые в состав гнейсово-амфиболитовой толщи; принято считать, что последняя образована в результате метаморфизма основных и кислых эффузивов [Кейльман, 1974; Русин, 2004]. Гранито-гнейсы имеют очковую структуру и состав, близкий к двуслюдяному предельному граниту. Гнейсы и амфиболиты секутся гранитоидами Нижнеуфалейского массива, представляющего собой крупное тело, обрамленное сателлитами более мелких. Это

типичные интрузивные гранитоиды, по составу отвечающие нормальным и субщелочным гранодиоритам и гранитам ($\text{SiO}_2=67-72\%$).

Геохронологическая изученность методами изотопной геологии образований Уфалейской зоны характеризуется более чем сорокалетней историей с тотальным преобладанием К-Аг данных (диапазон датировок 224-1290 млн лет), полученных, в основном, по валовым составам и слюдам [Кейльман, 1974]. Опубликованные U-Pb данные по фергусониту 1150-1400 млн лет* [Mineev, 1959] в сочетании с имеющимися изотопными данными по Уфалейской зоне предполагают наличие докембрийского основания, претерпевшего, в свою очередь, палеозойский метаморфизм в диапазоне 300-400 млн лет [Овчинников и др., 1964; Гаррис, 1977]. Полученные для пород Восточно-Уфалейской зоны (преимущественно-гнейсов) с помощью К-Аг метода возраста в интервале 293-316 млн лет [Ленных, 1968], несмотря на уровень аналитики, как ни странно, находятся в хорошем соответствии с современными ^{40}Ar - ^{39}Ar датировками $302,0 \pm 2,3$ млн лет, $292,5 \pm 2,1$ млн лет и $284,1 \pm 3,6$ млн лет, выполненными по белым слюдам [Eide et al., 1997]. Эта же работа содержит ^{40}Ar - ^{39}Ar изохрону с возрастом $303,8 \pm 5,7$ млн лет для биотита, выделенного из гранодиорита Верхнеуфалейского (Суховязовского) массива, расположенного в Восточно-Уфалейской зоне. Более современная публикация [Hetzl, Romer, 1999] содержит U-Pb данные по цирконам и сфенам из гранитоидов этого массива, которые на графике Ahrens & Wetherill локализируются как непосредственно на конкордии (316 ± 1 млн лет, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$), так и ниже ее, позволяя оценить (правда, с большой погрешностью!) верхнее пересечение дискордии с конкордией значением 1780 млн лет. Цифры в диапазоне 900-1100 млн лет неясного метрологического обоснования фигурируют в работе [Нечухин и др., 2000]. Нами по шести гранитоидам Нижнеуфалейского массива Rb-Sr методом получен изохронный возраст $316,9 \pm 2,5$ млн лет [Шардакова и др., 2005а,б]. И, наконец, предварительные результаты изучения изотопов Sm-Nd были выполнены в рамках работы [Ронкин и др., 2005а]. Настоящее изложение подводит итог начатых ранее исследований Sr-Nd систем в гранитоидах Нижнеуфалейского массива.

Образцы. Шесть образцов гранитоидов (граниты, адамеллиты, лейкогранит), ранее да-

тированных Rb-Sr методом [Шардакова и др., 2005б], были использованы в настоящей работе. Гранитоиды характеризуются среднезернистой, слабо гнейсовидной гипидиоморфнозернистой структурой, отражающей, вероятно, слабые следы катаклаза. Состоят из плагиоклаза, кварца, калишпата, биотита ($\pm$ мусковит); акцессорная ассоциация – эпидот, апатит, циркон, сфен, ортит, магнетит.

Примерная привязка проб приведена на рис. 1 в работах [Шардакова и др., 2005а,б].

Аналитика. Определения концентраций и изотопного состава Sm-Nd были выполнены масс-спектрометрическим методом изотопного разбавления. Для минимизации погрешностей изотопного разбавления, содержания Sm-Nd в гранитоидах предварительно определялись с помощью кислотного разложения и последующего анализа с помощью HR/ICP-MS Element2 [Ронкин и др., 2005б].

Навеска образца с дозированным количеством двойного трассера $^{150}\text{Nd} + ^{149}\text{Sm}$ и смесью кислот $\text{HF} + \text{HNO}_3$ (или HClO_4) в соотношении 5:1 помещалась во фторопластовую капсулу. Разложение образцов проводилось в автоклавах, путем нагревания до $t = 130-200^\circ\text{C}$, в зависимости от состава исходной пробы. После полного растворения материала, смесь выпаривалась досуха, заливалась 10Н HCl для разрушения фторидов и в течение 6 часов выдерживалась в автоклаве при $t=130^\circ\text{C}$. Далее образец вновь выпаривался досуха, сухой остаток заливался 2,3Н HCl, центрифугировался и вносился в ионнообменную колонку ($L - 170$ мм, $d - 5$ мм для навесок 0,1-0,2 г или $L - 170$ мм, $d - 8$ мм для навесок 0,3-0,5 г) с ионитом AG-50 $\times$ 8, 200-400 меш. В этих колонках осуществлялось отделение суммы РЗЭ от основных составляющих пробы путем ступенчатого элюирования 2,3Н HCl и 3,9Н HCl. Далее фракция элюата, содержащая Nd, Sm, другие РЗЭ и следы некоторых элементов пробы, упаривалась и растворялась в 0,6 мл. 0,1Н HCl. Окончательное выделение Sm и Nd проводилось на второй хроматографической колонке ($L - 90$ мм, $d - 5$ мм) с ди-(2 этилгексил)ортофосфорной кислотой, нанесенной на политрифторхлорэтилен (KEL-F). С целью более эффективного отделения Nd и Sm от следов щелочноземельных элементов проводилось градиентное элюирование 0,1Н HCl и 0,3Н HCl. Элюаты NdCl_3 и SmCl_3 выпаривались, обрабатывались азотной кислотой и отправлялись на масс-спектрометрический ана-

*Пересчитано на современные константы.

лиз. Все работы по химической подготовке исходных образцов проводились в специальном стерильно-производственном помещении, позволяющем строго контролировать уровень холостых загрязнений во время микроанализа [Ронкин и др., 2000]. Масс-спектрометрический анализ изотопного состава Sm-Nd выделенных смесей образцов с трассером выполнялся с помощью прецизионного мультиколлекторного твердофазного анализатора Finnigan 262 в статическом режиме. Типичные погрешности для отношений $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ и $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ для данных образцов не превышали 0,2 % и 0,003 % ($\pm 2\sigma$)

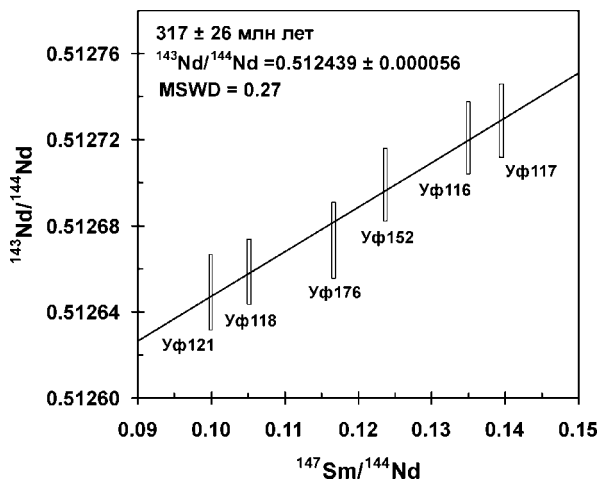


Рис. 1. Sm-Nd эволюционная диаграмма для валовых составов гранитоидов Нижнеуфалейского массива. Размеры прямоугольников соответствуют $\pm 2\sigma$ погрешностям по обеим осям координат. Уф118, Уф152 – амаеллиты; Уф121, Уф176 – граниты; Уф117 – лейкогранит.

соответственно и контролировались путем анализа аттестованных международных стандартов La Jolla и BCR-2. Калькуляция Sm-Nd эволюционных зависимостей осуществлялась с помощью Isoplot/Ex ver. 2,49 [Ludwig, 2001].

Результаты и их обсуждение. Экспериментально-полученные Sm-Nd изотопные данные представлены в различных координатах на рис.1-3.

График в координатах $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ – $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ (рис. 1) позволяет вычислить возраст и первичное отношение изотопов $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$. Валовые составы амаеллитов – Уф118, Уф152; гранитов – Уф121, Уф176 и лейкогранита – Уф117 в рассматриваемых координатах обнаруживают относительно небольшую «растяжку» по оси абсцисс (0,1-0,14). Аппроксимация положения фигуративных точек соответствующей линией регрессии определяет изохронный (MSWD=0,27) возраст 317 ± 26 (2 σ) млн лет. Это значение Sm-Nd возраста замечательно совпадает с ранее полученным по Rb-Sr данным $316,9 \pm 2,5$ млн лет [Шардакова и др., 2005б] что, несомненно, подтверждает геологическую значимость выполненного двумя разными методами возрастного датирования.

Модельный Nd возраст (рис. 2). Вычисленные, относительно модельного хондритового резервуара, CHUR ($^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}_{\text{CHUR}} = 0,1967$, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{\text{CHUR}} = 0,512636$) значения $\epsilon_{\text{Nd}}(0)$ в проанализированных образцах укладываются в диапазон +0,3 (Уф121) ÷ +1,8 (Уф117). Аналогичные вычисления относительно истощенного мантийного резервуара DM ($\epsilon_{\text{Nd}}(T) = 0,25 \times T^2 - 3 \times T + 8,5$ [DePaolo, 1988]) значений $\epsilon_{\text{Nd}}(T)$ в проанализированных образцах определяются значениями +4,0 (Уф176), +4,1 (Уф118, Уф117) и +4,2 (Уф121,

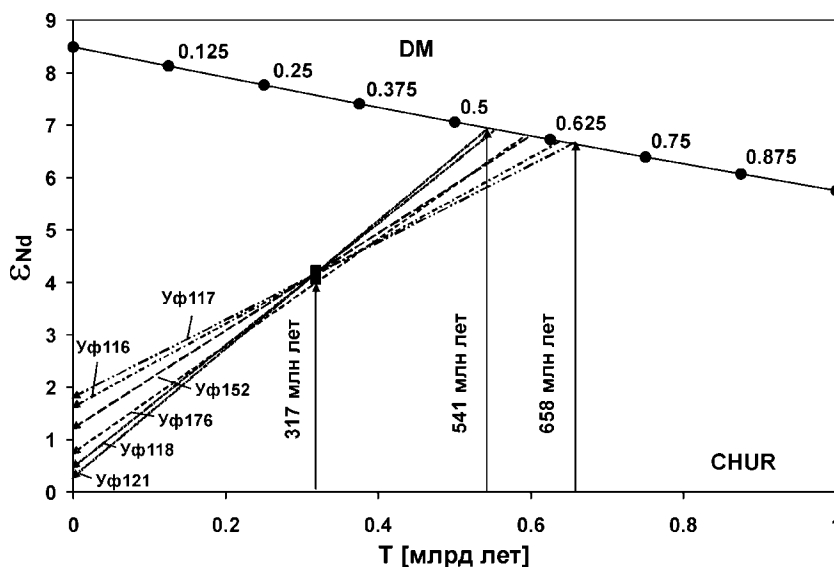


Рис.2. График « $\epsilon_{\text{Nd}}(T) - T$ », позволяющий вычислить модельные Nd датировки для гранитоидов Нижнеуфалейского массива относительно обедненного резервуара DM (деплетированная мантия). CHUR – хондритовый однородный резервуар ($^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}_{\text{CHUR}} = 0,1967$, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{\text{CHUR}} = 0,512636$). $\epsilon_{\text{Nd}}(T) = 0,25 \times T^2 - 3 \times T + 8,5$; $\epsilon_{\text{Nd}}(0) = [(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_{\text{m}} / (^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{\text{CHUR}}) - 1]$ [DePaolo, 1988].

Уф152, 116). Модельные Nd датировки характеризуются диапазоном 541 млн лет (Уф121) – 658 млн лет (Уф117), что свидетельствует, в случае отсутствия контаминации более «молодым» материалом [Ardnt et al., 1987], об ограниченной роли древнего протолита в формировании изученных гранитоидов Нижнеуфалейского массива.

Генетические ограничения (рис. 3). Sr-Nd изотопные данные для изученных пород, исправленные на радиоактивный распад (317 млн лет, в соответствии с полученными Rb-Sr и Sm-Nd изохронными зависимостями) на корреляционной диаграмме $\epsilon_{UR}(317) - \epsilon_{CHUR}(317)$ локализуются в пределах II квадранта. Иными словами, гранитоиды Нижнеуфалейского массива произошли от источников, имеющих более высокие отношения Sm/Nd, чем CHUR и более низкие значения отношений Rb/Sr в сравнении с UR, тяготея к линии мантийной последовательности.

Выводы.

1. Sm-Nd изотопные данные фиксируют каменноугольный (башкирская эпоха) возраст образования гранитоидов Нижнеуфалейского массива, совпадая в пределах полученных погрешностей с ранее полученными Rb-Sr данными.
2. Комплементарно низкие первичные отношения изотопов $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, высокие первичные отношения $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ и локализация фигуративных точек Нижнеуфалейских гранитоидов во втором квадранте Sr – Nd корреляционной диаграммы предполагает превалирующее присутствие в исходном субстрате мантийного (островодужного) материала.
3. На основании полученных кембрийско-вендских модельных Nd датировок валовых составов исследованных гранитоидов Нижнеуфалейского массива, вывод (предположение) об архейском – протерозойском возрасте субстрата решается отрицательно.

Список литературы

- Алексеев А.А. Рифейско-вендский магматизм западного склона Южного Урала. М.: Наука, 1984. 137 с.
- Гаррис М.А. Этапы магматизма и метаморфизма в доюрской истории Урала и Приуралья. М.: Наука, 1977. 295 с.
- Иванов К.С. Основные черты геологической истории (1,6-0,2 млрд лет) и строения Урала. Екатеринбург: ИГТ УрО РАН, 1998. 252 с.
- Кейльман Г.А. Мигматитовые комплексы подвижных поясов. М.: Недра, 1974. 199 с.

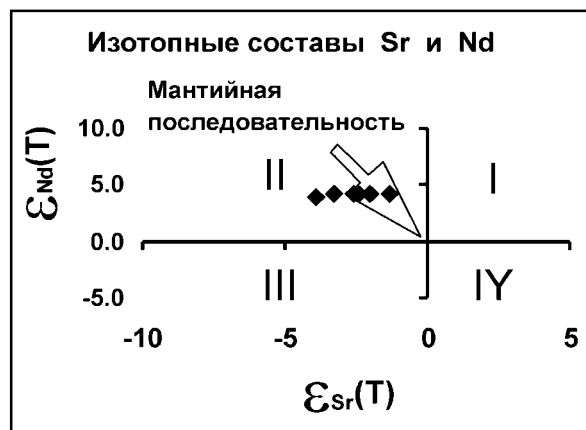


Рис. 3. Sr-Nd изотопная корреляционная диаграмма для гранитоидов Нижнеуфалейского массива. I-IV – квадранты Sr-Nd корреляционной диаграммы.

Ленных В.И. Региональный метаморфизм докембрийских толщ западного склона Южного Урала и хребта Урал-Тау (Путеводитель Урал-таусской экскурсии). Свердловск, 1968. 68 с.

Нечеухин В.М., Краснобаев А.А., Соколов В.Б. Геохронология и структурное положение нижнего докембрия в Уральском аккреционно-складчатом обрамлении Русской плиты // Общие вопросы расчленения докембрия. Апатиты, 2000. С. 201-203.

Овчинников Л.Н., Дунаев В.А., Краснобаев А.А. Материалы к абсолютной геохронологии Урала // Абсолютный возраст геологических формаций. М.: Наука, 1964. С. 157-171.

Пучков В.Н. Палеогеодинамика Южного и Среднего Урала. Уфа: Даурия, 2000. 144 с.

Ронкин Ю.Л., Лепихина О.П., Голик С.В., Журавлев Д.З., Попова О.Ю. Мультиэлементный анализ геологических образцов кислотным разложением и окончанием на HR ICP-MS Element2 // Ежегодник-2004. Екатеринбург: ИГТ УрО РАН, 2005а. С. 423-433.

Ронкин Ю.Л., Лепихина О.П., Ершов В.М. Стерильно-производственное помещение для химической подготовки проб для изотопного анализа // Конференция «Изотопное датирование геологических процессов: новые методы и результаты». 2000. С. 297-299.

Ронкин Ю.Л., Шардакова Г.Ю., Шагалов Е.С., Лепихина О.П., Попова О.Ю. Интрузивные гранитоиды Уфалейской зоны (Ю. Урал): изотопные Rb-Sr, Sm-Nd и геохимические ограничения // XI конф. «Строение, геодинамика и минерогенетические процессы в литосфере» Сыктывкар, 2005б. С. 309-310.

Русин А.И. Метаморфические комплексы Урала и проблема эволюции метаморфизма в полном цикле развития литосферы подвижных поясов Автореф. докт. дис. Екатеринбург, 2004. 46 с.

Ферштатер Г.Б., Бородин Н.С., Рапопорт М.С. и др. Орогенный гранитоидный магматизм Урала. Миасс: НИСО УрО РАН, 1994. 296 с.

Шардакова Г.Ю., Шагалов Е.С., Ронкин Ю.Л., Лепихина О.П., Попова О.Ю. Новые данные о возрасте

гранитоидов Нижнеуфалейского массива // Ежегодник-2004. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН. 2005а. С. 308-310.

Шардакова Г.Ю., Шагалов Е.С., Ронкин Ю.Л., Лепихина О.П., Попова О.Ю. Rb-Sr возраст и геохимия интрузивных гранитоидов Уфалейской зоны (Ю.Урал) // Докл. АН. 2005б. Т. 405. № 6. С. 799-803.

Arndt, N.T., Goldstein, S.L. Use and abuse of crust-formation ages. *Geology*. 1987. V. 15. P. 893-895.

DePaolo D.J. Neodymium Isotope Geochemistry: An Introduction, Springer-Verlag, Heidelberg, 1988. 187 p.

H.P.Echtler, K.S.Ivanov, Y.L.Ronkin, et al. The tectono-metamorphic evolution of gneiss complexes in the Middle Urals: A reappraisal. // *Tectonophysics*. 1997. V. 276. P. 229-252.

Eide E. A., Echtler H. P., Hetzel R., Ivanov K. S. Cooling age diachroneity and Paleozoic orogenic processes in the Middle and Southern Urals. Abstract Supplement. *Terra Nova*. 9. 1997. N 1. P. 119.

Hetzel R., Romer R.L. U-Pb dating of the Verkhniy Ufaley intrusion, middle Urals, Russia: a minimum age for subduction and amphibolite facies, overprint of the East European continental margin // *Geol. Mag.* 1999. V. 136. N 5. P. 593-597.

Ludwig Kenneth R. Isoplot/Ex ver. 2,49. Berkeley Geochronology. Center. Special Publication N 1a. 2001. 55 p.

Mineev D. A. REE-bearing epidote from pegmatites of the middle Urals // Report of the Academy of Science. USSR 1959. V. 127. N 4. P. 865-868.