

НОВЫЕ Sm-Nd ИЗОТОПНЫЕ ДАННЫЕ О ВОЗРАСТЕ КУСИНСКОГО ГАББРОВОГО МАССИВА (ЮЖНЫЙ УРАЛ)

В.В. Холоднов, Ю.Л. Ронкин, Г.Б. Ферштатер, С.В. Прибавкин, Н.С. Бородина,
О.П. Лепихина, О.Ю. Попова

Кусинский габбровый массив входит в состав среднерифейской Кусинско-Копанской габбровой интрузии, располагаясь в ее северо-восточном окончании. Данные по геологии и петрологии массивов, слагающих интрузию (Копанского, Маткальского, Медведевского, Кусинского) и ассоциированных с ними ильменит-титаномагнетитовых месторождений неоднократно приводились в литературе [Штейнберг и др., 1959; Алексеев и др., 1992; Ферштатер и др., 2001, и др.]. Изотопные Sm-Nd возрастные данные до сих пор отсутствовали. Результаты наших исследований, изложенные ниже, – попытка восполнить этот пробел.

Геология массива. В Кусинском массиве выделяется два блока [Ферштатер и др., 2001]: северо-западный, сложенный преимущественно роговообманковыми габбро и габбро-амфиболитами с участками амфиболитизированных габбро-норитов (в этом блоке сосредоточены все массивные титаномагнетит-ильменитовые руды), и юго-восточный, вскрытый на полную мощность (до 1100 м) глубокой скважиной № 2. Он сложен ильменитовыми габбро-норитами внизу и их амфиболовыми аналогами – в верхней части. Оба блока характеризуются расчлененностью, заключающейся в чередовании слоев разной меланократовости и мощности. Параллельно расчлененности ориентирована трахитоидная структура габбро-норитов и нематогранобластовая структура габбро-амфиболитов.

Петрографическая характеристика. Для Sm-Nd изотопных исследований были отобраны пробы габбро-норитов из северо-западного и юго-восточного (скв. 2) блоков, последние любезно предоставлены авторам А.А. Алексеевым, а также плагиоклаз и апатит из габбро-норитов северо-западного блока. Позиция проб показана в работе [Холоднов и др., 2002].

Габбро-нориты северо-западного блока (пробы 78-80) представлены меланократовыми средне- крупнозернистыми породами габбровой, гипидиоморфнозернистой, участками трахитоидной структуры, с келифитовыми каймами. Раннюю генерацию образуют неизменные, нередко зональные плагиоклазы (преобладает анде-

зин 45-50), в незначительной степени амфиболитизированные орто- и клинопироксены, ильменит, титаномагнетит, а также в небольших количествах амфибол и биотит. Минералы второй генерации слагают келифитовые каймы, окружающие ранние минералы, и включают в себя роговую обманку, биотит, а также гранат и хлорит. В заметных количествах присутствует апатит.

Габбро-нориты юго-восточного блока (пр. 16690 с глубины 956 м и пр. 16699 с глубины 999 м) сходны по составу с вышеописанными породами. Это среднезернистые мезократовые породы гипидиоморфнозернистой, участками трахитоидной структуры с келифитовыми каймами. Главную генерацию пород составляют плагиоклаз (андезин № 45) свежего облика, клинопироксен, реже ортопироксен, замещенный тонкозернистым агрегатом бесцветного амфибола, рудный минерал. В составе келифитовых кайм – бурый и сине-зеленый амфибол, гранат, биотит, хлорит.

Методика измерений и результаты. Мультиэлементный микроанализ (более 50 элементов) осуществлялся в ИГГ УрО РАН с помощью кислотного разложения проб и последующего анализа на тандемном масс-спектрометре высокого разрешения с ионизацией в индуктивно-связанной плазме HR/ICP-MS Element2 [Ронкин и др., 2005]. Погрешность мультиэлементного анализа не хуже $\pm(5-10)$ % отн. при содержании элемента больше 10-20 предела его обнаружения.

Определение концентраций и изотопного состава Sm и Nd были выполнены масс-спектрометрическим методом изотопного разбавления с использованием смешанного трассера $^{149}\text{Sm} + ^{150}\text{Nd}$, с дальнейшим измерением изотопного состава соответствующих смесей с помощью прецизионного мультиколлекторного анализатора Finnigan MAT262 в статическом режиме. Типичные погрешности для отношений $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ и $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ для данного объекта не превышали 0,8 % и 0,004 % ($\pm 2\sigma$) соответственно и контролировались путем анализа аттестованных международных стандартов La Jolla и BCR-2. Калькуляция Sm-Nd эволюционных зависимостей

Таблица 1

Изотопная характеристика габбро-норитов

Проба	Sm (ppm)	Nd (ppm)	¹⁴⁷ Sm/ ¹⁴⁴ Nd#	¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd	±2σ [%]
Габбро-норит 80	3,16	12,1	0,1585	0,512160	0,003
Габбро-норит 79	2,29	8,84	0,1570	0,512181	0,004
Габбро-норит 78	1,89	6,78	0,1688	0,512272	0,003
Плагиоклаз	1,09	6,03	0,1095	0,511723	0,004
Апатит	62,2	232	0,1622	0,512194	0,003
Габбро-норит 16690	3,16	12,7	0,1499	0,512112	0,003
Габбро-норит 16699	3,34	13,3	0,1520	0,512116	0,002

Примечание. # Измерено с ошибкой менее 0,5% (±2σ).

Таблица 2

Параметры Sm-Nd эволюционных зависимостей

Образцы	К-во точек	Модель	Возраст, млн лет	IR	MSWD	Вероятность соответствия
Габбро-норит 78, 80, плагиоклаз, апатит	4	1	1388±63	0,510722±0,000065	1,5	0,21
Габбро-норит 78, 80, плагиоклаз, апатит, габбро-норит 16690, 16699,	6	2	1384±120	0,51073±0,00013	2,3	0,054
Габбро-норит 78, 79, 80, плагиоклаз, апатит, габбро-норит 16690, 16699,	7	3	1391±130	0,51073±0,00013	2,5	0,028

осуществлялась с помощью Isoplot/Ex ver. 2.49 [Ludwig, 2001].

Изотопные характеристики Sm-Nd и результаты изотопного датирования приводятся в табл. 1-2 и отражены на рис. 1. Валовые составы габбро-норитов (пробы 16690, 16699, 78, 79 и 80) в координатах ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd – ¹⁴⁷Sm/¹⁴⁴Nd обнаруживают высокие абсолютные значения Sm/Nd и от-

носительно небольшую «растяжку» по оси абсцисс (0,1499-0,1585), в связи с чем аппроксимация валовых составов указанных проб соответствующей линией регрессии, определяет значительную погрешность с учетом неоднородности изотопного состава первичного Nd. Привлечение данных по изотопному составу Sm и Nd апатита и в особенности плагиоклаза из пробы 78 позволяет в значительной мере увеличить диапазон изотопных данных по обеим координатным осям.

Суммируя аналитические данные, следует отметить, что наиболее представительной для габбро-норитов северо-западного блока является выборка с вероятностью соответствия («probability fit» [Ludwig, 2001]) = 0,21 (табл. 2), содержащая фигуративные точки плагиоклаза, апатита, габбро-норитов 80 и 78 (модель 1, [York, 1969]), которая определяет Sm-Nd возраст габбро-норитов 1388 ± 63 млн лет. Добавление данных, принадлежащих валовым составам габбро-норитов 16690, 16699 (модель 2) и 79 (модель 3) переводит изохронную зависимость в разряд эррохронной и к соответствующему уменьшению «вероятности соответствия» (табл. 2), что, по-ви-

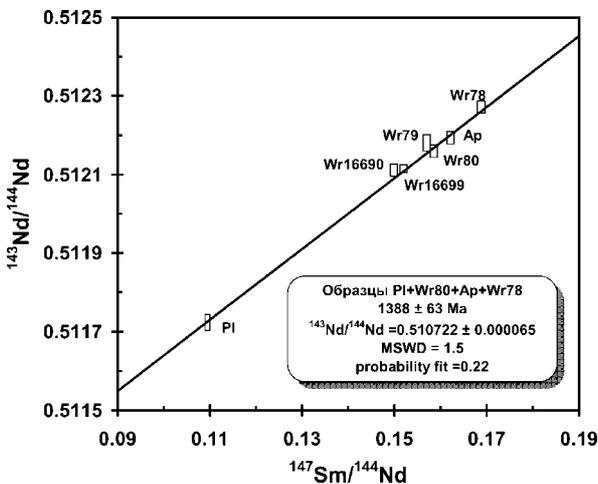


Рис. 1. Sm-Nd данные для изученных образцов Ку-синского массива.

Таблица 3

Содержание петрогенных (мас. %) и редких (г/т) элементов в изученных пробах

№	2	3	4	5	6
Обр.	78	79	80	16690	16699
SiO ₂	41,02	46,09	46,24	43,80	41,70
TiO ₂	4,30	2,56	2,52	5,50	6,45
Al ₂ O ₃	10,47	13,34	9,43	13,50	11,67
Fe ₂ O ₃	12,96	4,37	10,79	4,00	5,01
FeO	9,69	10,41	5,03	12,30	14,04
MnO	0,20	0,14	0,17	0,26	0,25
MgO	6,86	5,57	7,59	6,00	6,02
CaO	11,64	12,17	13,55	9,69	10,54
Na ₂ O	0,96	2,65	1,46	2,41	2,24
K ₂ O	0,13	0,21	0,14	0,24	0,36
P ₂ O ₅	0,08	0,06	0,29	0,15	0,21
П.п.п	1,45	1,53	0,83	1,50	1,54
Сумма	99,76	99,11	98,03	99,35	100,03
Li	2,75	3,72	3,10		
Rb	2,32	3,95	2,94	2,46	3,90
Cs	0,06	0,07	0,09	0,08	0,06
Be	0,40	0,80	0,85		
Sr	286,84	449,12	305,23	502,03	443,48
Ba	106,46	184,55	227,42	224,19	241,07
Sc	50,11	44,10	58,68	41,74	47,00
V	1184,89	626,67	644,84	603,81	680,62
Cr	30,37	30,53	33,77	8,12	5,06
Co	65,00	38,22	47,56	53,41	62,54
Ni	196,50	84,76	93,93	12,70	14,25
Cu	294,32	206,51	161,82	38,75	54,07
Zn	145,17	91,09	96,36	413,73	577,25
Ga	21,98	20,25	16,89	21,56	21,09
Y	9,73	11,00	14,39	16,69	17,11
Nb	2,82	3,83	2,81	10,04	17,44
Ta	0,14	0,19	0,14	0,73	1,14
Zr	7,56	9,94	13,43	26,70	31,14
Hf	0,48	0,51	0,64	0,90	1,01
Pb	3,10	3,22	2,97	4,01	0,85
U	0,11	0,12	0,10	0,01	0,07
Th	0,20	0,46	0,29	0,37	0,47
La	3,67	5,72	6,27	8,78	8,19
Ce	8,96	13,29	15,57	20,44	19,41
Pr	1,36	1,90	2,35	2,80	2,76
Nd	6,61	8,88	11,58	12,10	12,02
Sm	2,10	2,29	3,17	3,19	3,21
Eu	0,86	1,05	1,17	1,39	1,33
Gd	2,12	2,40	3,31	2,79	2,95
Tb	0,35	0,39	0,50	0,50	0,51
Dy	1,98	2,14	2,89	2,99	3,20
Ho	0,40	0,42	0,57	0,64	0,67
Er	1,00	1,11	1,43	1,66	1,74
Tm	0,14	0,16	0,21	0,23	0,24
Yb	0,81	0,97	1,21	1,45	1,45
Lu	0,12	0,14	0,18	0,21	0,21

димому, связано с неоднородностью первичного состава изотопов Nd ($\pm 2\sigma$ initial $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ variation = 0,000023). Последнее косвенно подтверждается рядом петрографических и геохимических особенностей габбро-норитов северо-западного и юго-восточного блоков (табл. 3, рис. 2).

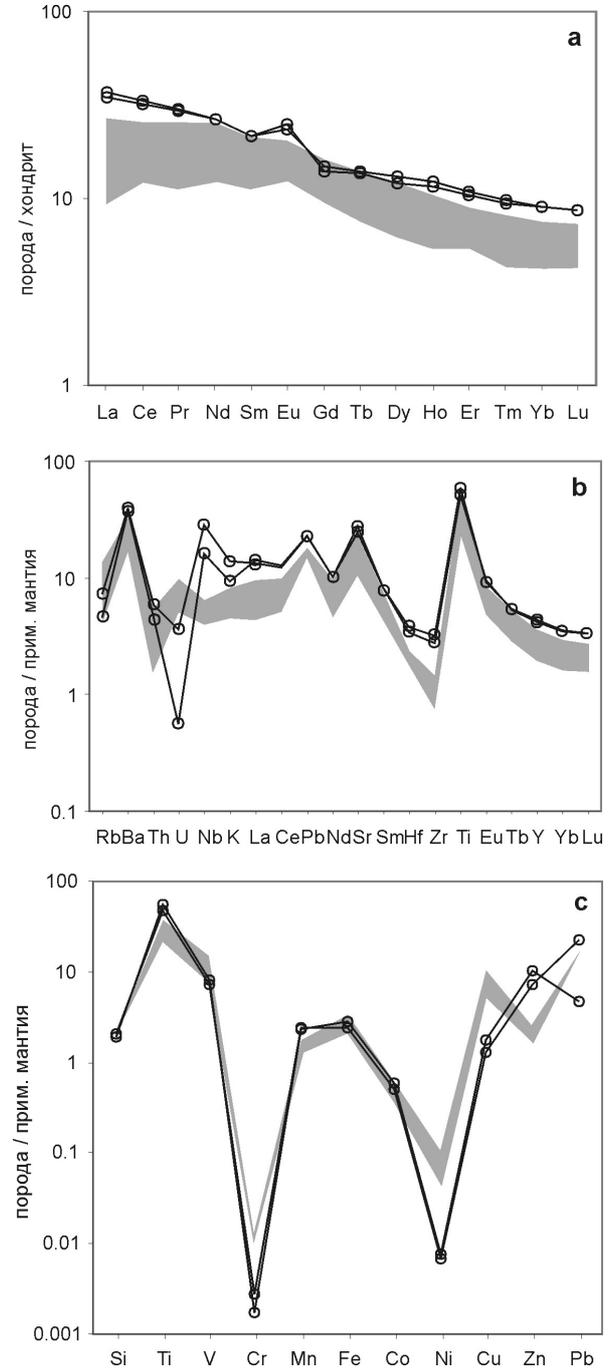


Рис. 2. Спайдер-диаграммы распределение РЗЭ (а), РЭ (б), транзитных элементов (с) в габбро-норитах Кузинско-Копанской группы массивов, нормированные по хондриту [McDonough, Sun, 1995] и примитивной мантии [Hofmann, 1988].

Залитое поле – Кузинский массив, месторождение (пробы: 78, 79, 80), открытые кружки – Кузинский массив, скв. 2 (пробы: 16690, 16699).

Габбро-нориты северо-западного блока имеют более высокие содержания никеля, хрома, меди и урана, они выделяются также повышенными отношениями Ni/Co (1,9-3 против 0,24), Cu/Co (3-5 против 0,7-0,8), Cu/Zn (1,6-2,2 против 0,09). Для этих габбро-норитов характерны также высокие содержания хлора в апатитах.

Габбро-нориты юго-восточного блока отличаются повышенными содержаниями титана, более высокими Ti/Fe отношениями (0,34 против 0,16-0,19), на фоне близких содержаний железа (табл. 3), пониженной степени окисления железа, более высокими содержаниями РЗЭ с отчетливой положительной аномалией Eu (рис. 2), повышенными содержаниями K, Ca, P, Zr, Hf, Nb, Ta, а также Mn, Sr, Th, Zn и Pb, более высокими отношениями Th/U (6,7 против 1,8-3,8), Zr/Hf (30 против 15-20) La/Y (6 против 4-5). Повышенные количества цинка в габбро-норитах этой группы определяются, по-видимому, их геохимическим сродством с двухвалентным железом, количество которого здесь больше. С последним фактом можно связать и специализацию пород этой группы на существенно ильменитовое оруденение.

Полученная цифра 1388 ± 63 млн лет в точности соответствует возрасту циркона из габбро-норитов Копанского массива той же Кусинско-Копанской интрузии и перекрывающих ее гранитов Рябиновского массива ([Краснобаев и др., 2006], статья в настоящем сборнике).

Работа выполнена при поддержке грантов НШ-85.2003.5., РФФИ 04-05—96052-р2004Урал-а и РФФИ 05-05-64079.

Список литературы

Алексеев А.А., Алексеева Г.В., Ковалев С.Г. Кусинско-копанский интрузивный комплекс: новые данные, представления и перспективы. Препринт. Уфа: БНЦ УрО РАН., 1992. 20 с.

Краснобаев А.А., Ферштатер Г.Б., Беа Ф., Монтеро П. Возраст цирконов из габбро и гранитоидов Кусинско-Копанского интрузивного комплекса // Ежегодник – 2005, Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2006. В печати.

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: ИГГ УрО РАН, 2005. С. 423-433

Ферштатер Г.Б., Холоднов В.В., Бородин Н.С. Условия формирования и генезис рифейских ильменит-титаномагнетитовых месторождений Урала // Геология рудных месторождений. 2001. Т. 43. № 2. С. 112-128.

Холоднов В.В., Бочарникова Т.Д., Прибавкин С.В. Петрохимическая характеристика пород расслоенной серии Кусинского месторождения // Ежегодник-2001. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2002. С. 141-147.

Штейнберг Д.С., Кравцова Л.И., Варлаков А.С. Основные черты геологического строения Кусинской габбровой интрузии и залегающих в ней рудных месторождений // Вопросы геологии Урала. Свердловск: ГГИ, 1959. С. 13-40.

Hofmann A.W. Chemical differentiation of the Earth: the relationship between mantle, continental crust and oceanic crust // Earth Planet Sci. Letters. 1988. V. 90. P. 297-314.

Ludwig Kenneth R. // Isoplot/Ex ver. 2.49. Berkeley Geochronology Center. Special Publication. N 1a. 2001. 55 p.

York D. Least-squares fitting of a straight line with correlated errors // Earth Planet. Sci. Lett. 1969. V. 5. P. 320-324.

McDonough W.F., Sun S.S. The composition of the Earth // Chemical Geology, 1995. V. 120. P. 223-253.