

УДК 550.93:552.311(470.55).57)

## ИЗОТОПНЫЙ Rb–Sr-ВОЗРАСТ НЕПЛЮЕВСКОГО ПЛУТОНА И БЛИЗЛЕЖАЩИХ ИНТРУЗИВНЫХ ТЕЛ (ЮЖНЫЙ УРАЛ)

© 2003 г. В. С. Попов, Ал. В. Тевелев, Б. В. Беляцкий,  
В. И. Богатов, Т. А. Осипова

Представлено академиком Е.Е. Милановским 10.02.2003 г.

Поступило 10.02.2003 г.

Неплюевский многофазовый габбро-гранитный плутон, занимающий площадь  $(18-20) \times (12-14)$  км, расположен в южном сегменте Восточно-Уральского поднятия к югу от известного Джабыкского плутона (рис. 1). Вмещающими породами служит терригенная толща нижнеордовикской (?) рымникской свиты. Севернее развиты метаосадочные породы, возраст которых остается предметом дискуссии. С запада и востока на них надвинуты тектонические пластины, сложенные ультрамафитами, а также вулканическими и осадочными породами девона и карбона, выжатые из соседних прогибов.

В Неплюевском плутоне выделяются четыре фазы внедрения (от ранних к поздним): I – габбро и диориты, II – кварцевые диориты и гранодиориты, III – адамеллиты и IV – лейкограниты. Гранитоиды II и III фаз занимают основную площадь плутона. Самыми молодыми являются мелкозернистые адамеллиты и лейкограниты, слагающие малые интрузивы в центре плутона. Северо-восточнее Неплюевского плутона расположен Варшавский плутон, образованный крупно- и среднезернистыми адамеллитами. Великопетровский

плутон в северо-восточной части района сложен гранатсодержащими биотитовыми гранитами, а Астафьевский плутон на северо-западе – габброидами и гранитоидами, близкими по составу к породам Неплюевского плутона (рис. 1). Плутонические породы Астафьевского, Варшавского и Великопетровского плутонов претерпели метаморфизм, отвечающий условиям не ниже зеленосланцевой фации.

Сведения о возрасте Неплюевского плутона остаются неточными. K–Ar-датировки валовых проб охватывают интервал от 394 до 220 млн. лет (неопубликованные данные А.М. Антуфьева, 1965 гг. и Ю.П. Бердюгина, 1980 г.). В.М. Горожанинным получены Rb–Sr эрохроны, отвечающие  $374 \pm 11$  и  $347 \pm 14$  млн. лет [2]. Для метагранитоидов Астафьевского плутона опубликованы эрохроны  $419 \pm 25$  и  $471 \pm 92$  млн. лет [1], что дало основание для выделения астафьевского интрузивного комплекса ордовикского возраста [2].

В настоящем сообщении приведены новые данные о возрасте Неплюевского плутона и некоторых близлежащих интрузивных тел, основанные на Rb–Sr минеральных изохронах, а также сведения о валовом изотопном составе Sr и Nd\*. Измерения проводили на масс-спектрометрах Finnigan MAT-261 (ИГГД) и MI-1201T (ИМГРЭ) с использованием стандартных методик. Результаты измерений изотопного состава Rb–Sr системы приведены в табл. 1, параметры Rb–Sr изохрон – в табл. 2, а изотопные отношения Sm–Nd системы – в табл. 3.

Изохроны 3–5 (табл. 2) оценивают возраст гранитоидов II–IV фаз Неплюевского плутона в интервале 346–340 млн. лет с последовательным омоложением от ранней фазы к поздней. Полученные оценки соответствуют позднему турне-раннему визе и согласуются с наличием обломков

\* Анализ изотопного состава Nd и Sr был выполнен в лабораториях Института минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов (ИМГРЭ) и Института геологии и геохронологии докембрия (ИГГД РАН).

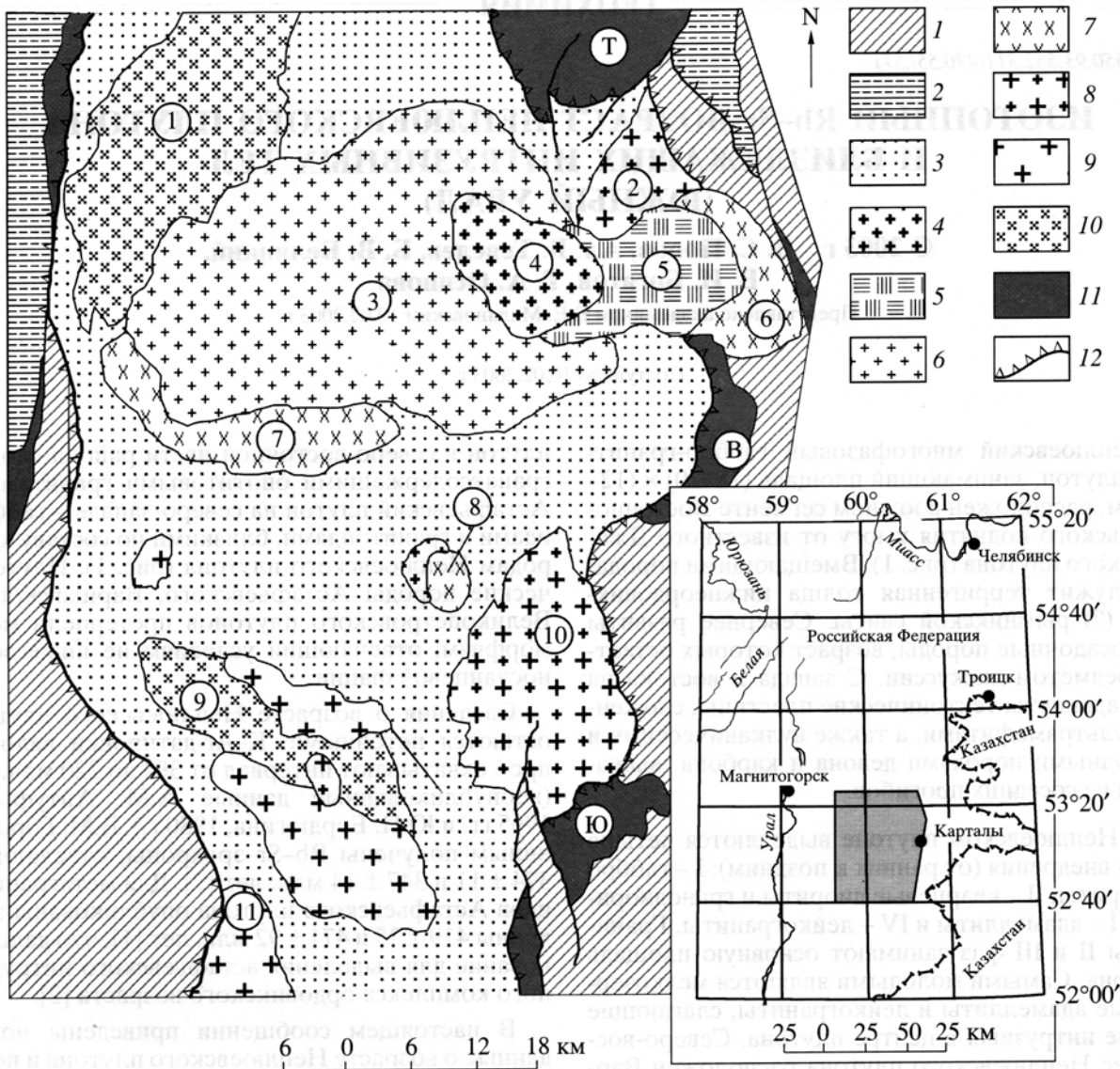
Московский государственный  
геологоразведочный университет,  
Москва

Московский государственный университет  
им. М.В. Ломоносова

Институт геологии и геохронологии докембрия  
Российской Академии наук,  
Санкт-Петербург

Институт минералогии, геохимии  
и кристаллохимии редких элементов,  
Москва

Институт геологии и геохимии  
им. акад. А.Н. Заварицкого  
Уральского отделения  
Российской Академии наук,  
Екатеринбург



**Рис. 1.** Схема геологического строения Джабыкского plutонического ареала. 1 – нижнекаменноугольные вулканогенные и осадочные породы; 2 – верхнедевонские вулканиты; 3 – нижнепалеозойские и докембрийские (?) терригенные и метасадочные породы; пермские plutонические комплексы: 4 – аятский (лейкограниты), 5 – ольховский (лейкограниты), 6 – джабыкский (биотитовые граниты), 7 – степнинский (монцитониты и граносиениты); 8 – раннепермские(?) адамеллиты и граниты Великопетровского, Варшавского и Неплюевского плутонов; раннекаменноугольный plutонический комплекс: 9 – адамеллиты, лейкограниты, 10 – гранодиориты, кварцевые диориты, габбродиориты; 11 – серпентинитовые массивы: Т – Татищевский, В – Верблюжих гор, Ю – Южно-Варшавский; 12 – надвиги. Плутоны (цифры на схеме): 1 – Астафьевский, 2 – Великопетровский, 3 – Джабыкский, 4 – Аятский, 5 – Ольховский, 6 – Восточно-Ольховский, 7 – Мочагинский, 8 – Акмуллинский, 9 – Неплюевский, 10 – Варшавский, 11 – Суундукский.

гранитоидных пород в терригенных отложениях верхнего визе [2]. Это позволяет отнести внедрение Неплюевского плутона к судетской (саурской) тектонической фазе, проявленной во многих палеозойских складчатых поясах Евразии, в том числе и на Урале [6].

Изохрона 7 (табл. 2) для кварцевого диорита из Астафьевского плутона (обр. 4129) отвечает возрасту  $265 \pm 3$  млн. лет, который определяется главным образом изотопным составом Sr в био-

тите (табл. 1). Как и другие породы этого плутона, изученный кварцевый диорит испытал метаморфизм с замещением амфибола биотитом. При этом изотопная Rb-Sr система, скорее всего, была нарушена, и пермский изохронный возраст характеризует время метаморфизма. Если исключить из построения биотит и объединить остальные три точки мономинеральных фракций обр. 4129 с четырьмя точками обр. 4068 (гранодиорит II фазы Неплюевского плутона), то общая эрохрона 10

Таблица 1. Измеренные параметры Rb-Sr изотопной системы

Образец	Порода	Материал	Rb, мкг/г	Sr, мкг/г	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$
<b>Неплюевский плутон</b>						
4083/1	Адамеллит	Вал	143	271	1.525	0.71283
		Биотит, >0.25	799	25	94.6	1.08109
		Биотит, 0.1–0.25	779	23	101.6	1.70784
		Полевой шпат	89.8	421	0.618	0.70913
		Апатит	34.17	276	0.358	0.70814
4063	Лейкогранит	Вал	198	11	52.9	0.97272
		Полевой шпат	275	17	49.8	0.95766
		Биотит	1026	60	54.2	0.97929
		Эпидот	232	27	25.0	0.83757
4065	Адамеллит	Вал	98	326	0.870	0.70910
		Биотит	490	13	114.7	1.26166
		Полевой шпат	128	473	0.781	0.70873
4080	Адамеллит	Вал	65	478	0.391	0.70695
		Биотит	412	34	35.0	0.87544
		Полевой шпат	13	491	0.077	0.70538
		Титанит	5	1114	0.013	0.70514
4068	Гранодиорит	Вал	78	413	0.543	0.70769
		Биотит	395	33	35.2	0.87821
		Полевой шпат	20	371	0.159	0.70578
		Титанит	4	54	0.232	0.70621
<b>Варшавский плутон</b>						
4046	Адамеллит	Поздняя фаза, вал	82	504	0.469	0.70670
4042	Адамеллит	Ранняя фаза, вал	167	732	0.661	0.70936
		Биотит	1018	23	136.8	1.21646
		Полевой шпат	113	691	0.474	0.70868
		Апатит	4	3229	0.004	0.70690
<b>Великопетровский плутон</b>						
4106	Гранит	Вал	147	185	2.307	0.71625
<b>Астафьевский плутон</b>						
4129	Кв. диорит	Вал	61	992	0.179	0.70598
		Биотит	305	45	19.9	0.78019
		Полевой шпат	4	1048	0.012	0.70538
		Титанит	2	80	0.086	0.70573
<b>Акмуллинский плутон</b>						
4008	Граносиенит	Вал	105	477	0.637	0.70741
		Биотит	637	31	60.2	0.93982
		Полевой шпат	55	672	0.236	0.70602
		Титанит	6	977	0.018	0.70484
4013	Лейкогранит	Вал	201	211	2.748	0.71576
		Биотит	19	889	144.9	1.23796
		Полевой шпат	350	284	3.565	0.71884
<b>Джабыкский плутон</b>						
4108	Гранит	Вал	198	189	3.032	0.71710
<b>Ольховский плутон</b>						
4101	Лейкогранит	Вал	147	185	2.307	0.71625

Примечание. Аналитическая неопределенность измерения  $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$  в валовых пробах – 1%, в минералах – 0.5%;  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  – 0.01%, в обр. 4063 – 0.02% (2σ).

Таблица 2. Параметры Rb–Sr изохрон (1–9) и эрохрон (10, 11)

Изо(эро)-хрона	Плутон	Комплекс, фаза	Порода	Образец	Точки на изо(эро)хроне	Возраст, млн. лет	$(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$	СКВО
1	Неплюевский	Поздний комплекс Ранний комплекс:	Адамеллит	1083/1	5 (WR, Ap, Fsp, 2Bi)	278 ± 1	0.70673 ± 4.5	1.4
2		IV фаза	Лейкогранит	4063	4 (WR, Ep, Fsp, Bi)	340.3 ± 2.6	0.7165 ± 14	0.045
3		III фаза	Адамеллит	4065	3 (WR, Fsp, Bi)	341.0 ± 1.7	0.70491 ± 6	1.07
4			Адамеллит	4080	4 (WR, Ti, Fsp, Bi)	342.3 ± 1.7	0.70504 ± 4	1.16
5		II фаза	Гранодиорит	4068	4 (WR, Ti, Fsp, Bi)	345.7 ± 1.7	0.70503 ± 4	0.95
6	Варшавский	Главная фаза	Адамеллит	4042	4 (WR, Ap, Fsp, Bi)	261.8 ± 1.3	0.70690 ± 4	0.1
7	Астафьевский	II фаза (?)	Кв. диорит	4129	4 (WR, Ti, Fsp, Bi)	265 ± 3	0.70535 ± 14	2.4
8	Акмуллинский	Поздний комплекс	Лейкогранит	4013	3 (WR, Fsp, Bi)	258.3 ± 1.3	0.70571 ± 10	1.03
9		Ранний комплекс	Граносиенит	4008	4 (WR, Ti, Fsp, Bi)	274.4 ± 3.1	0.70493 ± 42	22
10	Неплюевский	II фаза	Гранодиорит	4068	7 (4068, 4129 без Bi)	345.5 ± 2.4	0.70514 ± 15	16
	Астафьевский	II фаза (?)	Кв. диорит	4129				
11	Неплюевский	Поздний комплекс	Адамеллит	4083/1	9 (4083/1, 4106, 4042 без Bi)	277.9 ± 1.2	0.70682 ± 13	7.7
	Варшавский	Главная фаза	Адамеллит	4042				
	Великопетровский	Главная фаза	Гранит	4106				

Примечание. Результаты измерений приведены в табл. 1.

WR – валовая проба, Ti – титанит, Ap – апатит, Ep – эпидот, Fsp – полевой шпат, Bi – биотит.

(табл. 2) отвечает возрасту  $345.5 \pm 2.4$  млн. лет. Таким образом, наши данные не подтверждают существования ордовикского астафьевского интрузивного комплекса [1, 2].

Вблизи грейдера Снежное–Каракуль раннекаменноугольные гранитоиды Неплюевского плутона прорваны небольшими телами мелкозернистых адамеллитов и лейкогранитов (показаны на рис. 1 в обобщенном виде). Некоторые из этих тел содержат базитовые включения с псевдоэмульсионными текстурами, указывающими на одновременное внедрение основного и кислого расплавов. Изохрона 1 (табл. 2) для адамеллита (обр. 4083/1) соответствует раннепермскому возрасту ( $278 \pm 1$  млн. лет).

Адамеллиты Варшавского плутона и биотитовые гранатсодержащие граниты Великопетровского плутона (рис. 1) так же, как и породы Астафьевского плутона, испытали метаморфизм. Пермский изохронный возраст  $261.8 \pm 1.3$  млн. лет образца 4042 из Варшавского плутона (табл. 2, изохрона 6), вероятнее всего, характеризует именно время метаморфизма, совпадающее со временем этого события в Астафьевском плуто-

не. Изохрона, построенная по четырем точкам обр. 4106 (вал, два полевых шпата, биотит) из Великопетровского плутона, фиксирует еще более поздний возраст метаморфизма:  $242 \pm 3$  млн. лет (СКВО = 1.9). Если исключить биотит, выделенный из обр. 4042, то девять точек, относящихся к образцам 4083/1, 4042 и валовой пробе 4106 (табл. 1), определяют эрохрону 11 (табл. 2) с возрастом  $277.9 \pm 1.2$  млн. лет. Таким образом, внедрение Варшавского и Великопетровского плутонов, скорее всего, произошло в ранней перми одновременно с формированием малых интрузивов в Неплюевском плутоне.

Изохронный возраст ранних граносиенитов Акмуллинского плутона (обр. 4008) равен  $274.4 \pm 3.1$  млн. лет (табл. 2, изохрона 9, СКВО = 22). Эта оценка близка к возрасту аналогичного по составу Мочагинского интрузива в южном обрамлении Джабыкского плутона ( $279 \pm 10$  млн. лет [5]). Поздние лейкограниты Акмуллинского плутона датированы  $258.3 \pm 1.3$  млн. лет (табл. 2, изохрона 8) и могут быть сопоставлены с лейкогранитами аятского комплекса в ядре Джабыкского плутона (рис. 1).

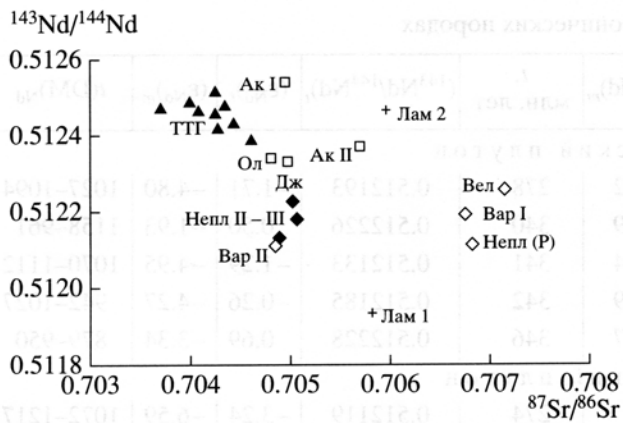
Таблица 3. Параметры Sm-Nd изотопной системы в плутонических породах

Образец	Порода	Sm, мкг/г	Nd, мкг/г	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_m$	$t$ , млн. лет	$(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_t$	$(\epsilon_{\text{Nd}})_t$	$(\epsilon_{\text{Nd}})_m$	$t(\text{DM})_{\text{Nd}}$
Неплюевский плутон										
4083/1	Адамеллит	4.49	24.8	0.1096	0.512392	278	0.512193	-1.71	-4.80	1027-1094
4063	Лейкогранит	2.94	12.6	0.1406	0.512539	340	0.512226	0.50	-1.93	1158-961
4065	Адамеллит	4.43	23.8	0.1125	0.512384	341	0.512133	-1.29	-4.95	1070-1112
4080	Адамеллит	4.25	24.5	0.1048	0.512419	342	0.512185	-0.26	-4.27	942-1027
4068	Гранодиорит	4.91	28.1	0.1055	0.512467	346	0.512228	0.69	-3.34	879-950
Варшавский плутон										
4046	Адамеллит	3.04	18.3	0.1008	0.5123	274	0.512119	-3.24	-6.59	1072-1217
4042	Гранит	5	31.9	0.0946	0.512368	278	0.512196	-1.65	-5.27	927-1131
Великопетровский плутон										
4106	Гранит	2.74	13.5	0.1229	0.512485	278	0.512262	-0.37	-2.98	1021-961
Астафьевский плутон										
4129	Кв. диорит	10.8	70.9	0.0924	0.512637	345.5	0.512428	4.58	-0.02	565-625
Акмуллинский плутон										
4013	Лейкогранит	1.58	10.6	0.0907	0.512529	258	0.512376	1.36	-2.13	694-821
4008	Граносиенит	4.49	29.5	0.0920	0.512704	274	0.512539	4.95	1.29	478-535
Джабыкский плутон										
4108	Гранит	3.81	23.5	0.0978	0.512514	282	0.512334	1.14	-2.42	757-859
Ольховский плутон										
4101	Лейкогранит	5.48	29.5	0.1121	0.512536	265	0.512342	0.87	-2.0	832-867

Примечание. Индекс  $m$  означает измеренные величины, индекс  $t$  – начальные величины для возраста  $t$  (табл. 2). Возраст Джабыкского плутона принят по данным [3], Ольховского плутона – по неопубликованным данным авторов. Величины  $\epsilon_{\text{Nd}}$  рассчитаны относительно однородного хондритового резервуара (CHUR).  $t(\text{DM})_{\text{Nd}}$  – модельный Nd возраст, рассчитанный относительно деплетированной мантии DM [7]. Слева даны значения одностадийного возраста, справа – двухстадийного возраста при  $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd} = 0.118$  (среднее значение для тоналита [8]) на интервале от  $t$  до  $t(\text{DM})_{\text{Nd}}$ .

Таким образом, полученные данные указывают на следующую последовательность формирования гранитоидов в южной части Джабыкского плутонического ареала: раннекаменноугольные кварцевые диориты, гранодиориты, адамеллиты и лейкограниты Неплюевского и Астафьевского плутонов (346–340 млн. лет); пермские(?) адамеллиты и граниты Варшавского и Великопетровского плутонов, а также малые интрузивы сходного состава в Неплюевском плутоне ( $278 \pm 1$  млн. лет); пермские граносиениты ( $274 \pm 3$  млн. лет) и лейкограниты ( $258 \pm 1$  млн. лет) Акмуллинского плутона. По геологическим данным позднепалеозойский метаморфизм, наложенный на гранитоиды Астафьевского, Варшавского и Великопетровского плутонов, предшествовал внедрению Джабыкского, Мочагинского и Акмуллинского плутонов. Изотопные оценки возраста метаморфизма (242–265 млн. лет), вероятно, соответствуют времени закрытия Rb-Sr системы биотита на заключительной стадии процесса.

Распределение начальных изотопных отношений Sr и Nd в изученных гранитных породах показано на рис. 2. Для сравнения на диаграмму вынесены начальные отношения в гранитоидах тоналит-грандземит-гранодиоритовых (ТТГ) ассоциаций девонского и каменноугольного возраста, а также изотопные составы позднепалеозойских–раннемезозойских лампрофировых и лампроитовых даек на Среднем и Южном Урале [3, 4]. На фоне общей тенденции к снижению отношения  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  по мере увеличения отношения  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  выделяются группы пород с разными изотопными характеристиками. Максимальное начальное отношение  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.71729$  (на рис. 2 не показано) отмечено для лейкогранита (обр. 4063), завершившего последовательность раннекаменноугольных фаз внедрения в Неплюевском плутоне; при этом начальное отношение  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  равно 0.512226. Это единственная порода среди изученных образцов, для которой можно уверенно говорить о неконтаминированном коровом источнике – грани-



**Рис. 2.** Начальные отношения  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  и  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  в гранитных породах Джабыкского плутонического ареала. Плутоны: Ак – Акмуллинский, Вар – Варшавский, Вел – Великопетровский, Дж – Джабыкский, Непл – Неплюевский, Ол – Ольховский (римские цифры – фазы внедрения); ТТГ – каменноугольные и девонские плутоны тоналит-трондьемит-гранодиоритовой ассоциации Среднего и Южного Урала [3, 4]; Лам1 – слюдяной лампрофир из Шарташского плутона, Лам2 – лампроит из Куйбасовского плутона [4].

те или ортогнейсе, имеющем позднерифейский модельный возраст (табл. 3).

Интрузивные породы с низкими начальными отношениями изотопов Sr (рис. 2) соответствуют II группе гранитоидов Урала [3], источником которых мог служить венд-кембрийский ТТГ-протолит, контаминированный магматическим веществом, связанным с более древними обогащенными мантийными резервуарами, или метасоматически измененный под воздействием мантийных расплавов и флюидов, перемещенных из этих резервуа-

ров в земную кору. Послегранитовые дайки слюдяных лампрофиров и лампроитов (рис. 2) дают представление об изотопном составе и возрасте обогащенной верхней мантии под Средним и Южным Уралом [4]. Если взаимодействие обогащенного мантийного вещества с венд-кембрийским ТТГ-протолитом приводило к увеличению начального отношения изотопов Sr в источниках гранитов, то при взаимодействии с рифейским или более древним коровым материалом возможен обратный эффект (рис. 2).

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты 00-05-64098 и 02-05-96428) и Программы “Университеты России” (проект УР.09.01.035).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горожанин В.М., Мосейчук В.М., Сурин Т.Н. Ежегодник-1997, Уфа: Гилем, 1999. С. 191–196.
2. Мосейчук В.М., Яркова А.В., Михайлов И.Г. и др. Объяснительная записка к Государственной геологической карте РФ 1:200 000. Сер. Южно-Уральская. Лист N-40-XXX. СПб: ВСЕГЕИ, 2003.
3. Попов В.С., Богатов В.И., Журавлев Д.З. // Петрология. 2002. Т. 10. № 4. С. 389–410.
4. Попов В.С., Тевелев Ал.В., Беляцкий Б.В. и др. // Зап. ВМО. 2003. № 3.
5. Ронкин Ю.Л., Иванов К.С., Банквитц П., Банквитц Е. Гранитоидные вулcano-плутонические ассоциации. Сыктывкар. 1997. С. 43–44.
6. Тевелев Ал.В., Тевелев Арк. В., Кошелева И.А. Тектоника Азии. М.: ГЕОС, 1999. С. 189–193.
7. DePaolo D.J., Linn A.M., Schubert G. // J. Geophys. Res. 1991. V. 96. № B2. P. 2071–2088.
8. Wedepohl K.H. // Geochim. et cosmochim. acta. 1995. V. 59. № 2. P. 1217–1232.