

НОВЫЕ ДАННЫЕ О СОСТАВЕ И ВОЗРАСТЕ ВУЛКАНИТОВ ТУРИНСКОЙ СЕРИИ НА РЕКЕ СИНАРЕ (СРЕДНИЙ УРАЛ)

К. П. Иванов, А. Т. Расулов, М. К. Рейхов*

Разрез нижнемезозойских образований по р. Синаре по праву считается одним из опорных для понимания характера строения и состава туринской вулканогенно-осадочной серии и принимается в качестве парастратотипического для ее нижней существенно вулканогенной бичурской свиты [1, 7]. Значимость этого разреза проявлена в двух аспектах. Прежде всего, это почти единственный разрез серии, образования которой выходят на дневную поверхность, в связи с чем доступны наблюдению на достаточно большой территории. От устья р. Черная (и д. Чернушка) на западе до юго-восточной окраины д. Борисова на востоке, на протяжении 5 км почти по непрерывным или весьма сближенным выходам пород серии в бортах коренных берегов реки и в рассекающих их оврагах, можно наблюдать все члены и петротипы серии и их соотношение друг с другом. Другой значимой чертой разреза является наличие в нем кислых вулканитов (плагиолипаритов). В целом, в разрезе выявлены и выделены три характерных компонента (члена): 1) вулканогенно-осадочная толща мощностью не менее 300 м (скв. 18-с) полого падающая на восток – это основной компонент серии, прослеживающийся на всем указанном ее протяжении; 2) субвулканические тела плагиолипаритов, секущие по

отношению к этой толще; 3) дайки долеритов, прорывающие все предыдущие компоненты, включая плагиолипариты [2, 9].

Характер размещения и залегания даек весьма интересен и показателен. Если на поверхности ранее наблюдалась одиночная дайка [1], то теперь в разрабатываемом камнещебеночном Борисовском карьере можно видеть более многочисленные дайки. В одном случае дайки образуют специфическую веерообразную структуру, или структуру схождения: пространственно дайки сходятся сверху вниз по вертикали и с востока на запад по латерали, но расходятся в противоположном направлении (вверх и на восток). На нижних вскрышных горизонтах в западной стенке карьера можно было видеть своего рода “полосчатую” серию из трех параллельных маломощных (~ 2 м) даек, разделенных “скринами” липаритов соизмеримой (~ 1 м) мощности; в противоположном, западном борту карьера, и примерно на том же гипсометрическом уровне, мощность разделяющих дайки “скринов” увеличиваются в 2–3 раза. На верхних вскрышных горизонтах дайки в восточном борту обнаруживаются уже через несколько десятков метров друг от друга. Представляется вполне логичным предполагать, что упомянутое схождение даек указывает на возможное наличие на глубине единого питающего канала и, естественно, еще более крупного интрузивного тела основного состава. Кстати, вполне возможно также, что это всего лишь остатки вулканического канала, по которому несколько ранее поднимался и расплав кислого состава.

По особенностям своего минерало-петрографического и химического состава вулканогенные образования р. Синары (как и сама туринская серия в целом) – это типичный представитель континентальной толеит-базальтовой формации, ее контрастного липарит-базальтового типа. Базальты, ведущие породы комплекса, представлены обычными плагиоклаз-клинопироксеновыми разностями, при подчиненном количестве оливина и рудных минералов и варьирующей роли стекла. Плагиоклаз имеет состав преимущественно лабрадора (An_{55-65}), пироксен-железистого авгита, а рудный – титаномagnetита. По своему химическому составу базальты Синары (2, табл. 1) отличаются от средне-

Таблица 1. Средний состав базальтов, липаритов и долеритов

	1	2	3	4	5	6
SiO ₂	49.8	49.1	71.8	70.7	44.61	47.96
TiO ₂	1.8	2.2	0.3	0.5	1.96	2.25
Al ₂ O ₃	15.7	15.7	13.5	13.7	11.97	12.94
Fe ₂ O ₃	5.5	5.9	1.7	1.9	6.93	7.45
FeO	6.1	6.4	1.6	2.6	7.02	7.58
MnO	0.15	0.15	0.1	0.07	0.21	0.22
MgO	5.0	4.7	0.5	0.5	6.03	6.52
CaO	8.15	8.6	0.7	0.6	9.10	9.84
Na ₂ O	2.7	2.6	2.2	2.5	3.20	3.43
K ₂ O	1.2	1.2	5.2	4.7	0.99	1.07
P ₂ O ₅	0.7	0.9	0.1	0.2	0.81	0.87
(п.п.п.)	3.2	2.5	1.4	2.3	7.67	–
сумма	100.0	99.95	99.1	100.2	100.23	100.00

Примечание. 1 – базальты туринской серии Зауралья (n = 115, где n – число анализов); 2 – то же, Синарского разреза (n = 12); 3 – липариты туринской серии (n = 45); 4 – то же, Синарского разреза (n = 5); 5–6 – долериты Синары (n = 4), в 6 – в пересчете на безводные 100%.

* Университет Лечестера, Англия

Таблица 2. Содержание микроэлементов в долеритах даек Синарского разреза

№ обр.	1–06	1–06R	2–06	2–06R	6–06	3–06	5–06	6–05	(n = 8)
Sc	26	23	27	26	27	27	24	26	26
Ti	10954	9875	10642	9927	10837	9844	9540	9574	10149
V	237	221	243	229	236	229	212	222	228
Cr	227	249	254	260	268	249	282	247	254
Co	38	40	42	42	47	41	43	41	42
Ni	129	90	120	102	119	110	138	111	115
Cu	40	23	40	24	39	39	36	38	35
Zn	109	111	115	114	119	113	112	106	112
Ga	15	14	16	14	16	16	15	16	15
Rb	17	19	14	15	17	19	18	15	17
Sr	730	786	570	617	730	599	670	593	662
Y	22.9	30.4	23.3	31.6	22.8	23.5	21.2	21.9	24.7
Zr	105	116	106	121	112	111	97	109	110
Nb	13.5	16.6	14.0	17.9	14.5	15.0	12.7	14.8	14.9
Sn	0.94	1.10	0.92	1.08	0.93	0.92	0.94	0.95	0.98
Cs	0.94	1.05	0.63	1.76	1.52	1.58	2.48	1.71	1.58
Ba	521	563	496	557	569	506	495	482	524
La	21.3	26.2	22.0	27.6	22.3	22.9	20.1	22.3	23.1
Ce	49.8	56.8	51.6	59.2	51.3	53.1	47.2	51.2	52.5
Nd	26.8	31.3	27.6	31.6	27.6	27.8	24.6	26.2	28.0
Sm	5.29	6.80	5.36	6.90	5.37	5.38	4.77	5.15	5.6
Eu	1.60	1.84	1.61	1.85	1.62	1.55	1.47	1.53	1.6
Gd	4.47	6.28	4.40	6.46	4.50	4.34	4.08	4.18	4.8
Dy	4.31	5.42	4.41	5.63	4.41	4.51	3.96	4.19	4.9
Er	2.27	3.17	2.41	3.23	2.35	2.45	2.15	2.35	2.5
Yb	2.13	3.10	2.24	3.24	2.23	2.33	2.03	2.11	2.4
Lu	0.31	0.50	0.32	0.52	0.33	0.34	0.30	0.31	0.4
Hf	2.20	2.95	2.27	3.01	2.37	2.38	2.06	2.30	2.4
Ta	1.72	0.72	1.82	0.80	1.85	1.95	1.59	1.91	1.55
Pb	5.44	14.16	7.23	6.97	6.54	5.31	6.21	4.82	7.1
Th	1.42	1.94	1.41	1.99	1.48	1.52	1.29	1.46	1.56
U	0.52	0.60	0.51	0.60	0.54	0.53	0.46	0.53	0.53

Примечание. Определения выполнены путем кислотного разложения и дальнейшего анализа с помощью SF HR/ICP-MS Element2 (данные в 1–06R и 2–06 О.П. Лепихина, Ю.Л. Ронкин); остальные – на Q ICP-MS Elan 9000 (Н.В. Чередниченко, Д.В. Киселева) в ИГГ УрО РАН.

го базальта туринской серии (1, табл. 1) несколько более высоким содержанием Fe, Ti, Ca, P, но пониженным Si, Mg, Na. А кислые вулканы Синары, по сравнению со средним липаритом туринской серии, характеризуются более низкими содержаниями SiO₂ и K₂O, но более высокими железа и натрия (4 и 3 в табл. 1), обусловленное тем, что они представлены не липаритами (риолитами), а плагиолипаритами [1].

Долериты даек по своему минерало-петрографическому составу мало чем отличаются от базальтов и свое название “долериты” получили лишь для того, чтобы оттенить их субвулканическую интрузивную природу. Это типичные для мелких интрузивных тел и эндоконтактовых зон крупных интрузий туринской серии долерит-порфиры. По своему минералогическому составу они отличаются от базальтов разве лишь, возможно, несколько более основным, в среднем, составом плагиоклаза и более титанистым составом пироксена и титаномагнетита [4]. По структурно-текстурным признакам

они варьируют от собственно порфировых долерит-порфиритов (редких), всегда порфировых и стекловатых, в разной степени пористых и/или миндалекаменных, до афировых микродолеритов, массивных, тонко- или микрозернистых. Смена идет в направлении от внешних, эндоконтактовых зон тела, к ее внутренним частям. В этом же направлении заметно снижается и степень вторичных изменений пород, из числа которых наиболее характерны хлоритизация и карбонатизация, в меньшей мере серицитизация, каолинизация, цеолитизация и тому подобное.

Представление о химическом составе долеритов дают результаты анализа четырех образцов, полученные спектральным рентгено-флуоресцентным методом на СРМ-18 в лаборатории ФХМИ ИГГ УрО РАН (аналитики Г.С. Неупокоева, В.П. Власов, Н.П. Горбунова). Первое, что обращает внимание в результатах анализа, это большая и сильно вариативная величина потери при прокаливании (п.п.п.) – от повышенной в 4.6% в микродолерите из цен-

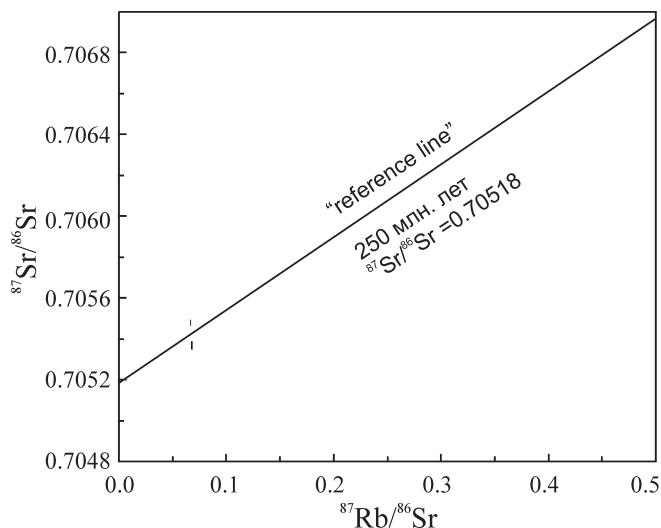


Рис. 1. Rb-Sr эволюционная диаграмма для вулканитов Туринской серии (Средний Урал).

Размеры прямоугольников пропорциональны $\pm 2\sigma$ погрешностям по осям координат.

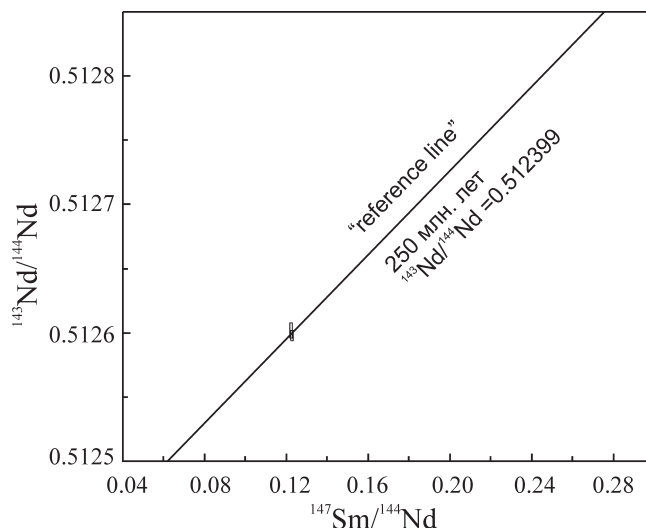


Рис. 2. Sm-Nd эволюционная диаграмма для вулканитов Туринской серии (Средний Урал).

Размеры прямоугольников пропорциональны $\pm 2\sigma$ погрешностям по осям координат.

тральной части дайки (обр. 6–05) до запределной в 11.5% в микропорфирите эндоконтактной зоны (обр. 4–05). При пересчете этих результатов на «безводный» состав, средний «обезвоженный» состав долеритов оказывается наиболее близким составу наименее измененного образца (6–05). Такой состав долерита (5 и 6, табл. 1) от среднего базальта района (2, табл. 1) отличается лишь меньшим содержанием SiO_2 и, особенно, Al_2O_3 , но большим MgO , CaO и Na_2O , при несущественных различиях в содержании остальных элементов. В петрохимическом плане долериты, по сравнению с базальтами, оказываются менее насыщенными кремнеземом и более магнезиальными, а по нормативному составу, в отличие от кварц-толеитовых базальтов, являются оливиновыми толеитами (точнее существенно гиперстеновыми при небольшой роли оливина).

С петрохимическими особенностями долеритов хорошо согласуются и особенности их микроэлементного состава. Содержание микроэлементов, в отличие от петрогенных, в породах варьирует в весьма узком интервале, при сопоставимой величине последнего для всех элементов, что хорошо видно из значений их содержания (табл. 2) и из диаграммы нормирования по N-MORB. Это типичный для континентальных толеитов состав, который имеют все триасовые вулканические комплексы Западно-Сибирской плиты [3, 6, 8, 14], не говоря уже о среднеуральской части туринской серии (в том числе базальтов р. Синара) [5]. Вместе с тем, от среднеуральского (и синарского) состава состав долеритов отличается более низким содержанием почти всех элементов (за исключением K, Cs, Nb, Sr и Ti), обогащением Sr и отсутствием дефицита Ti при более четком дефиците Nb и Hf.

Изотопные датировки пород Синарского разреза до последнего времени были ограничены немногочисленной K-Ar фактурой. К началу 1970-х гг. имелось не более десятка определений, главным образом по липаритам, укладывающихся в интервал 162–235 млн. лет. Почти аналогичные величины, позднее тем же методом, получены по долеритам дайки [9]. В настоящей работе приводятся результаты изучения изотопного состава Rb-Sr и Sm-Nd вулканитов туринской серии из Борисовского карьера, полученные масс-спектрометрическим методом изотопного разбавления (ID-TIMS), а также данные, полученные ^{40}Ar - ^{39}Ar , U-Pb методами (ID-TIMS).

В целом, наблюдается удовлетворительное совпадение, в пределах имеющихся погрешностей полученных датировок по соответствующим изотопным системам (рис. 1–3), однако разрешающая способность реализованных методов изотопной геологии различна. В частности, ^{40}Ar - ^{39}Ar данные для плагиоклаза долерита дайки (рис. 3) дают возраст 245.9 ± 0.6 млн. лет, ^{40}Ar - ^{39}Ar возраст по базальту из крайне-восточного их выхода на юго-восточной окраине с. Борисова дает цифру в 244.9 ± 1.2 млн. лет, тогда как U-Pb систематика цирконов из вмещающих липаритов определяет возраст около 250 млн. лет (персональное сообщение М.К. Рейхова). Rb-Sr и Sm-Nd данные по базальтам Туринской серии на графиках в координатах $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ – $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ и $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ – $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ удовлетворяют наклону «reference lines», отражающих возраст 250 млн. лет (рис. 1–2).

Таким образом, в качестве рабочего варианта можно утверждать, что все три компонента (члена) комплекса в Синарском разрезе лежат в интервале 245–250 млн. лет, что не противоречит гео-

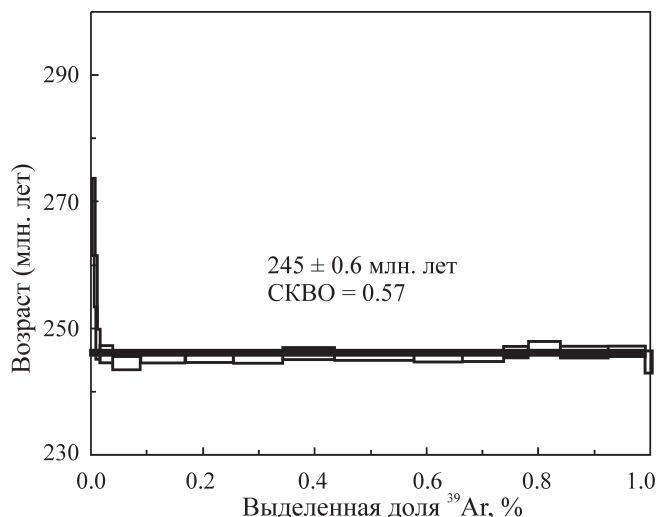


Рис. 3. Спектр ^{40}Ar - ^{39}Ar возрастов для плагноклаза из долерита дайки.

логическим воззрениям (триас, нижний и отчасти средний). Подобный же вывод напрашивается при анализе радиометрических данных возраста вулканитов Туринской серии в других районах Зауралья. В частности, изохронные Rb-Sr и Sm-Nd определения в базальтах Северо-Сосьвинского грабена (Северное Зауралье) дали, соответственно, 232 и 234 млн. лет, а ^{40}Ar - ^{39}Ar датировка по плагноклазу базальта в одной из депрессий Южного Зауралья дает вариацию возраста в пределах 241–243 млн. лет. Судя по полученным датировкам, возраст вулканитов Зауралья (Синарского разреза в том числе) явно ранне-среднетриасовый, тогда как протолитом изученных разностей могло быть, на основании Sm-Nd модельных данных ($T_{\text{DM}} = 698\text{--}750$ млн. лет), вероятно, либо докембрийское (Синара и др.), либо раннепалеозойское (Северная Сосьва и др.) вещество.

Анализ изотопных Sr-Nd составов базальтов Туринской серии, нанесенных на график в координатах $\epsilon_{\text{Sr}}-\epsilon_{\text{Nd}}$, позволяет выявить факт соответствия обсуждаемых фигуративных точек линии мантийной корреляции (первый квадрант), что характерно и для базальтов Северо-Сосьвинского грабена, по сравнению с которыми базальты Туринской серии имеют заметно большее содержание радиогенного стронция, но меньшее радиогенного неодима. Вместе с тем, в обоих случаях составы смещены вправо от линии мантийной корреляции, что обусловлено обогащением ^{87}Sr исходных расплавов, более сильным в случае долеритов Синары. Указанная особенность не исключение, поскольку в эту же область составов попадают многие (но далеко не все) островодужные и континентальные толеиты, в том числе (отчасти же) триасовые траппы Восточной Сибири (рис. 4).

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (грант 08-05-00019) и интеграционной

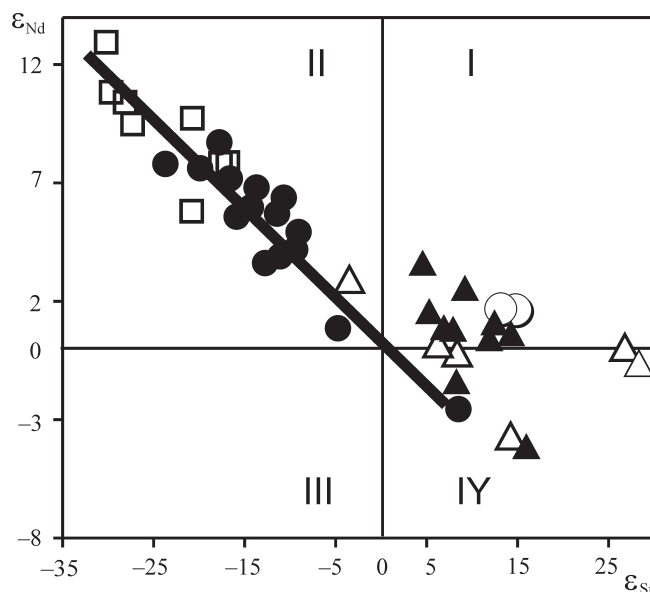


Рис. 4. Корреляционная диаграмма $\epsilon_{\text{Sr}}-\epsilon_{\text{Nd}}$ для вулканитов Туринской серии (Средний Урал).

Вулканиты Туринской серии – незалитые окружности. Для сравнения приведены: залитые окружности и квадраты – “mid-ocean ridge and oceanic island basalts” соответственно [10, 11, 13]; залитые и незалитые треугольники – “continental flood and oceanic basalts” соответственно и в том числе базальты сибирских траппов [12]. I–IV – квадранты корреляционной диаграммы.

программы УрО и СО РАН, с полноправным соавторством К.С. Иванова и Ю.Л. Ронкина.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Иванов К.П. Триасовая трапповая формация Урала. М.: Наука, 1974. 154 с.
2. Иванов К.П., Расулов А.Т. О фациальной природе тел кислых вулканитов триаса Урала // Ежегодник-2005. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2006. С. 53–56.
3. Иванов К.П., Иванов К.С., Федоров Ю.Н. Геохимия триасовых вулканитов Западно-Сибирской плиты (на примере туринской серии) // Геодинамика, магматизм, метаморфизм, рудообразование. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2007. С. 767–790.
4. Иванов К.С., Ерохин Ю.В., Смирнов В.Н., Слободчиков Е.А. Рифтогенез на Среднем Урале (комплексы и структуры растяжения в истории развития Среднего Урала). Путеводитель геологических экскурсий Международной научной конференции “Рифты литосферы”. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2002. 91 с.
5. Иванов К.С., Коротеев В.А., Федоров Ю.Н. Строение зоны сочленения Приполярного Урала и Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна // Литосфера. 2004. № 2. С. 108–204.
6. Крук Н.Н., Плотников А.В., Владимиров А.Г., Кутюлин В.А. Геохимия и геодинамические условия формирования траппов Кузбасса // Докл. АН. 1999. Т. 369, № 6. С. 812–815.
7. Малютин Н.Б. Смирнов Е.П. Дегтева М.Н. Геологи-

- ческое строение складчатого фундамента в Среднем Зауралье. М.: Недра, 1977. 223 с.
8. *Медведев А.Я., Альмухамедов А.И., Кирда Н.П.* Геохимия пермо-триасовых вулканитов Западной Сибири // Геология и геофизика. 2003. Т. 44, № 1-2. С. 86–100.
 9. *Расулов А.Т., Степанов А.И., Гуляева Т.Я.* Дайка долеритов в липаритах Ильинско-Борисовской впадины восточного склона Среднего Урала // Ежегодник-2005. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2006. С. 112–115.
 10. *DePaol, D. J., Wasserburg G. J.* 1.700-Myr greenstone volcanic successions in southwestern North America and isotopic evolution of Proterozoic mantle // Geophys. Res. Lett. 1976. № 3. P. 743–746.
 11. *DePaolo D.J., Wasserburg G.J.* Nd isotope variations and petrogenetic models // Geophys. Res. Lett. 1976. № 3. P. 249–252.
 12. *DePaolo D. J., Wasserburg G. J.* Neodymium isotopes in flood basalts from the Siberian Platform and inferences about their mantle sources // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 1979. V. 76. № 7. P. 3056–3060.
 13. *O'Nions R.K., Hamilton P. J., Evensen N.M.* Variations in $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ and $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ Ratios in Oceanic Basalts // Earth Planet. Sci. Lett. 1977. V. 34. P. 13–22.
 14. *Reichow M.K., Pringle M.S., Almukhamedov A.I. et al.* Timing and extent of the eruption of Siberian Traps Large igneous province: implications for the end-Permian environment crisis // Earth and Planetary Science Letters. 2009. V. 277. P. 108–124.