

## ПЕТРОЛОГО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ВУЛКАНИТОВ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ КУЗБАССА (Южная Сибирь)

**А.В. Наставко, Е.В. Бородин, А.Э. Изох**

*Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН,  
630090, Новосибирск, просп. Академика Коптюга, 3, Россия*

На основе близкого геохронологического возраста пород ( $252.3 \pm 0.6$ — $246.2 \pm 1.4$  млн лет) вулканы Кузбасса коррелируются с траппами Западно-Сибирской плиты и Сибирского кратона, возникновение которых связано с активностью пермотриасового суперплюма.

Геологические и петрографические особенности позволяют сделать вывод о том, что андезитобазальты, вскрытые Караканским и Елбакским карьерами, представляют собой покровы. По петрохимическим характеристикам они соответствуют андезитобазальтам, реже — трахиандезитобазальтам. Состав минералов: оливин —  $Fo_{59-66}$ , плагиоклаз —  $An_{47-60}$ , клинопироксен —  $En_{47-42}Fs_{25-12}Wo_{42-33}$ ,  $Mg\# = 82$ — $63$ . На основе программы COMAGMAT 3.5 определены условия кристаллизации магмы при формировании покровов андезитобазальтов —  $1109$ — $1105$  °С, буфер QFM-NNO.

По распределению РЗЭ, все изученные породы обогащены легкими лантаноидами по отношению к тяжелым —  $(La/Yb)_{ch} = 4.7$ — $7.5$  и деплетированы тяжелыми —  $(Sm/Yb)_{ch} = 2.0$ — $2.8$ . Важной геохимической особенностью базитовых пород Кузбасса является наличие резких минимумов в нормированных распределениях элементов по Nb, Ta, Ti и Eu ( $(La/Nb)_{PM} = 4.5$ — $1.6$ ,  $(La/Ta)_{PM} = 3.2$ — $2.0$ ,  $Eu/Eu^* = 0.7$ ), максимума по U. Sm-Nd-изотопный состав  $\epsilon_{Nd}(T)$  варьирует от  $+2.3$  до  $+3.1$ . Деплетированность траппов Кузбасса тяжелыми лантаноидами указывает на присутствие граната в мантийном источнике при их генерации. Низкая магнезиальность свидетельствует о том, что образовавшие их расплавы не являются первично-мантийными, а, вероятно, представляют собой результат дифференциации в глубинных промежуточных магматических камерах.

*Петрология, минералогия, геохимия, андезитобазальты, траппы, пермотриас, Кузнецкий бассейн.*

## PETROLOGICAL AND MINERALOGICAL FEATURES OF VOLCANIC ROCKS FROM THE CENTRAL KUZNETSK BASIN (southern Siberia)

**A.V. Nastavko, E.V. Borodina, and A.E. Izokh**

The Kuznetsk Basin volcanic rocks are close in age (from  $252.3 \pm 0.6$  to  $246.2 \pm 1.4$  Ma) to the traps of the West Siberian Plate and Siberian craton, which formed as a result of the Permo-Triassic plume activity.

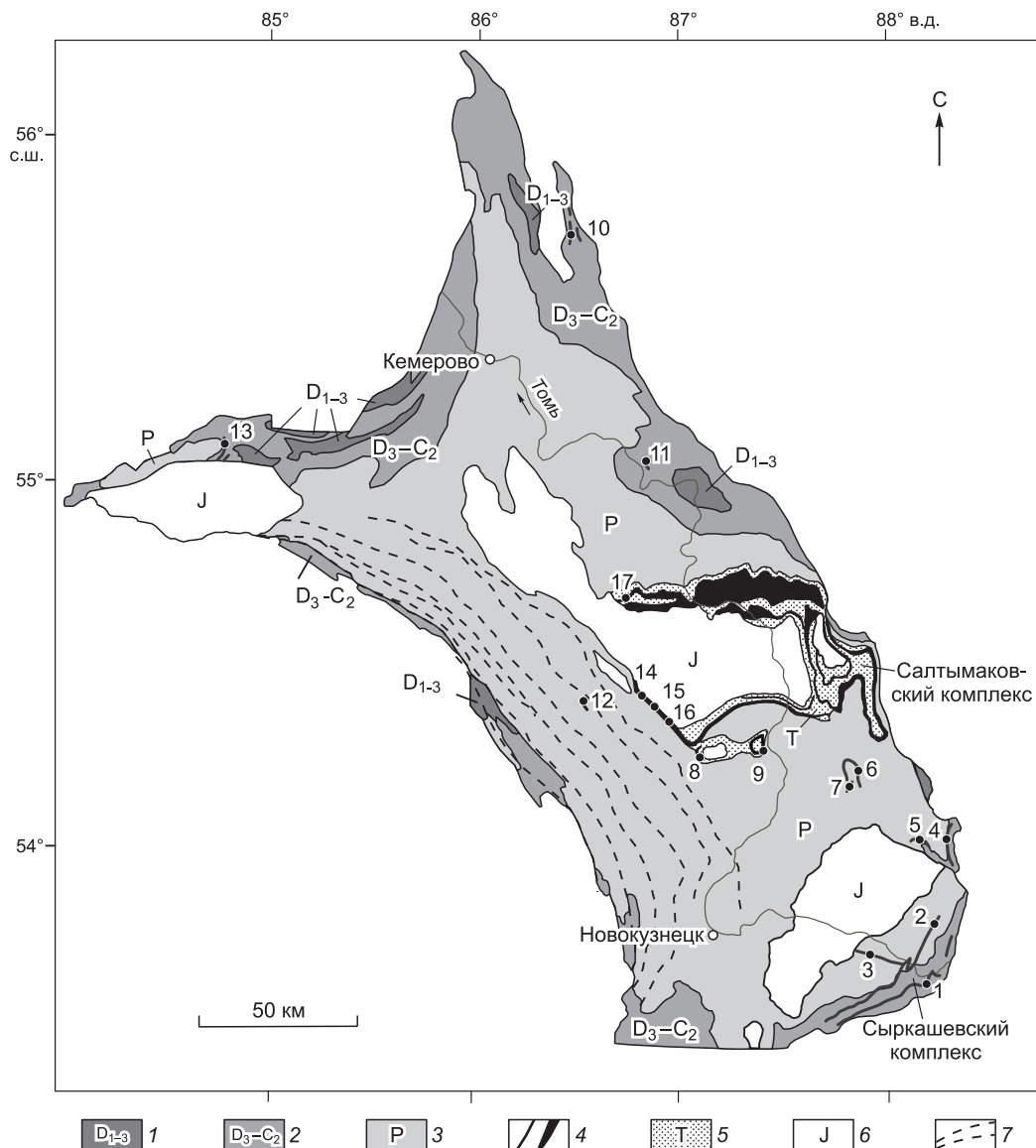
The geologic and petrographic features evidence that the andesite-basalts stripped in the Karakan and Elbak quarries are effusive rocks; most of them are andesitic basalts, and the rest are trachyandesite-basalts. The mineral composition is as follows: olivine  $Fo_{59-66}$ , plagioclase  $An_{47-60}$ , and clinopyroxene  $En_{47-42}Fs_{25-12}Wo_{42-33}$ ;  $Mg\# = 82$ — $63$ . Using the COMAGMAT 3.5 program, the magma crystallization conditions during the andesitic basalt formation were determined:  $1109$ — $1105$ °C, buffer QFM-NNO.

The studied rocks are enriched in LREE ( $(La/Yb)_{ch} = 4.7$ — $7.5$ ) and are depleted in HREE ( $(Sm/Yb)_{ch} = 2.0$ — $2.8$ ). A specific geochemical feature of the rocks is strong Nb, Ta, Ti, and Eu negative anomalies ( $(La/Nb)_{PM} = 4.5$ — $1.6$ ,  $(La/Ta)_{PM} = 3.2$ — $2.0$ ,  $Eu/Eu^* = 0.7$ ) and a positive U anomaly on their normalized element patterns;  $\epsilon_{Nd}(T)$  varies from  $+2.3$  to  $+3.1$ . The HREE depletion of the Kuznetsk Basin volcanic rock points to the presence of garnet in the mantle source during their generation. The low  $Mg\#$  indicates that the parental melts are not of the primary-mantle genesis but are probably the product of differentiation in deep-seated intermediate magma chambers.

*Petrology, mineralogy, geochemistry, andesitic basalts, trap, Permo-Triassic, Kuznetsk Basin*

## ВВЕДЕНИЕ

Кузнецкий угольный бассейн (Кузбасс) расположен в северной части Алтае-Саянской складчатой области (АССО). Он ограничен с севера и запада палеозойскими структурами Колывань-Томской и Салаирской складчатых систем, с востока — позднекайнозойскими горными хребтами Кузнецкого Алатау, с юга — палеозойскими породами Горной Шории [Буслов и др., 2010]. Проявления пермотриасового магматизма в западной части АССО принято относить к Сибирской крупной изверженной провинции (LIP) [Добрецов, 2005] (рис. 1). На изученной территории они представлены сложным по составу комп-



**Рис. 1. Геологическая схема Кузнецкого бассейна.**

1 — девонские песчаники, алевролиты, аргиллиты, гравелиты, конгломераты, известняки, мергели, тейфроды; 2 — осадочные породы верхнего девона—нижнего карбона: песчаники, алевролиты, аргиллиты, конгломераты, каменные угли; 3 — пермские песчаники, алевролиты, аргиллиты, конгломераты, каменные угли; 4 — абинский трапповый трахибазальтовый комплекс ( $T_{1-2}$ ): покровы, силлы, дайки; 5 — вулканогенно-осадочные отложения триаса: песчаники, алевролиты, аргиллиты, конгломераты, туфы и туффиты андезибазальтов, пласты цеолитоносных пород; 6 — юрские песчаники, алевролиты, аргиллиты, гравелиты, конгломераты, каменные угли; 7 — разрывные нарушения. Цифрами на карте обозначено: силлы и дайки Тутуяского ареала: 1 — Майзасский силл; 2 — Сыркашевский силл; 3 — Кийзасская дайка; 4 — Силл по р. Иванак; 5 — Силл по р. Тутуяс; 6 — Макарьевский силл; 7 — Макарьевская дайка; покровы и силлы Абинского ареала: 8 — Кыргайский силл; 9 — Осиновский силл; другие силлы: 10 — Силлы по р. Барзас и р. Кельбесу; 11 — Силлы у р. Мал. Змеинка; 12 — Завьяловский силл; 13 — Изылинский силл; карьеры: 8 — Кыргайский; 14 — Караканский и Алексеевский (Планерный); 15 — Лиственничный; 16 — Нижнетыхтинский; 17 — Елбакский.

лексом вулканогенно-осадочных отложений, лав, силлов и даек салтымаковского и сыркашевского трахибазальтовых комплексов трапповой формации ( $T_{1-2}$ ) [Федосеев и др., 2005].

По данным  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  метода по возрастному плато, вулканы салтымаковского и силлы сыркашевского комплексов образовались одновременно и стратиграфически соответствуют границе пермь—триас. Андезибазальты салтымаковского комплекса имеют возраст  $250.3 \pm 0.7$ — $247.5 \pm 0.8$  млн лет (андезибазальты из скважины в районе п. Осиново). Сыркашевский силл —  $252.7 \pm 0.7$ — $251.8 \pm 0.6$  млн лет по биотиту [Reichow et al., 2009; Буслов и др., 2010] и  $246.2 \pm 1.4$  млн лет по амфиболу [Федосеев и др., 2005]. На основе близкого петролого-геохимического состава и абсолютного возраста вулканы Куз-

басса коррелируются с траппами Западно-Сибирской плиты, Сибирской платформы и их южного складчатого обрамления, возникновение которых связывают с деятельностью пермотриасового суперплума [Добрецов, 1997, 2005].

Несмотря на хорошую изученность геологического строения Кузнецкого бассейна, петролого-минералогические и геохимические особенности траппов этого района недостаточно ясны. Поэтому целью настоящей статьи является характеристика вещественного состава вулканитов центральной части Кузнецкого бассейна и на этой основе — выявление петролого-геохимических особенностей формирования этих пород.

## ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ

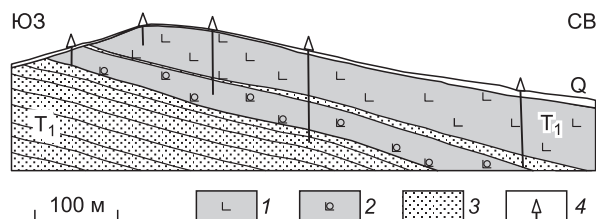
Стратифицированные образования триаса в Кузбассе представлены абинской серией, состоящей из мальцевской, сосновской и яминской свит [Лавренов и др., 2001; Буслов и др., 2010]. Абинская серия мощностью 700—2000 м залегает на отложениях верхнего палеозоя, с разрывом и структурным несогласием перекрывается осадками нижней юры. В составе нижнетриасовых отложений преобладают туфопесчаники и туфоалевролиты, менее характерны пепловые туффиты, туфы, песчаники, алевролиты и конгломераты.

Мальцевская свита ( $T_1ml$ ) имеет мощность 300—520 м, нижняя часть разреза представлена осадочной пачкой, верхняя — туфогенно-осадочной. В верхней пачке выделяют от двух до семи покровов андезибазальтов мощностью до 103 м, разделенных горизонтами туфопесчаников и туфов. Покровы состоят из нескольких потоков мощностью не более 10 м с закалочными зонами, сложными стеклом основного состава. Сосновская свита ( $T_{1-2}ss$ ) мощностью 370—675 м представлена ритмичным чередованием терригенно-осадочных пород с цеолитизированными туфами. Яминская свита ( $T_2jam$ ) мощностью около 500 м подразделяется на туфогенную (до 200 м) и вышележащую терригенную пачки. К нижней пачке в южном борту Бунгарапской мульды приурочены два покрова вулканитов мощностью 20 и 25 м, разделенных маломощным (до 1.5 м) прослоем туфоалевролитов.

Салтымаковский комплекс расположен в одноименной вулканотектонической депрессии («Мелатифирировая подкова» А.Н. Державина [Геология..., 1967]), в обрамлении Бунгарапской мульды. Этот комплекс включает вулканические и субвулканические образования Салтымаковского, Ажандаровского хребтов и Кайлотских, Абинских, Караканских гор, которые относятся к мальцевской и яминской свитам. Вулканиты салтымаковского комплекса залегают согласно с песчаниками и туфопесчаниками в составе вулканогенно-осадочной толщи и приурочены к верхам разреза. Максимальная мощность отложений (до 1475 м) эффузивных фаций зафиксирована в восточной части Салтымаковской вулканотектонической депрессии (Татарской мульде).

По данным бурения, по Тайдонскому профилю (Салтымаковский хребет) (см. рис. 1) выделяются семь покровов мощностью (вверх по разрезу) 18, 103, 45, 101, 6, 7, 2 м. Нижний покров представлен базальтами и трахибазальтами, которые выше по разрезу не встречаются, а верхние покровы — андезибазальтами и трахиандезибазальтами. Покровы чередуются с прослоями туфопесчаников и туфов. Мощность нижнего прослоя вулканогенно-осадочных пород составляет 4—74 м, мощность остальных — 2—13 м. В строении пачки наблюдается ритмичность. Основания ритмов сложены туфопесчаниками, которые вверх по разрезу сменяются туфами, затем покровами вулканитов. Покровы состоят из нескольких потоков мощностью не более 10 м, разделенных зонами вулканического стекла. В кровле самого мощного (103 м) покрова отмечены крупные (2—20 см) миндалины с халцедоном, которые являются одним из источников россыпей халцедона, имеющего практическую ценность [Лавренов и др., 2001].

Вулканиты Караканского хребта вскрыты Караканским, Алексеевским (Планерным), Лиственничным, Нижнетыхтинским и Кыргайским карьерами. Вулканиты Ажандаровского хребта вскрыты Елбакским карьером (см. рис. 1). В Караканском карьере среди потоков андезибазальтов залегает маломощный пласт (3—4 м) туфопесчаников, туфоаргиллитов и туфоалевролитов (рис. 2). Это позволяет выделить два покрова — нижний и верхний, разделенных горизонтом вулканогенно-осадочных пород. Оба покрова имеют выдержанную мощность (40 и 70 м соответственно) и пологое (13—18°) падение на северо-восток. Центральные части покровов представлены андезибазальтами со столбчатой отдельностью. При приближении к краевым зонам они постепенно переходят в андезибазальты с глыбовой отдельностью. Караканский карьер не вскрывает ни верхнего, ни



**Рис. 2. Разрез Караканского карьера.**

1 — массивный андезибазальт; 2 — миндалекаменный андезибазальт; 3 — алевролиты, туфоалевролиты; 4 — скважина.

нижнего контактов андезибазальтовых тел. Алексеевским (Планерным) карьером вскрыт нижний контакт андезибазальтов.

В геологическом строении Елбакского карьера принимают участие отложения мальцевской свиты, в разрезе которой выделяются две пачки. Нижняя мощностью 160—225 м представлена туфами, туфоалевролитами, песчаниками, алевролитами и конгломератами с преобладанием алевролитовой размерности. Верхняя мощностью 140—180 м сложена андезибазальтами с прослоями вулканогенно-осадочных пород. Мощность вулканитов, вскрытых Елбакским карьером, составляет около 60 м.

Сыркашевский комплекс включает Сыркашевский, Майзасский и Макарьевский дифференцированные силлы и дайки, сложенные андезибазальтами, трахиандезибазальтами, долеритами, монцогаббро, монцодиоритами и кварцевыми монцодиоритами, которые залегают среди угленосных карбон-пермских отложений балахонской серии на юге Кузбасса (см. рис. 1) [Кутолин, 1963, 1964].

### ПЕТРОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Вулканиты центральной части Кузбасса имеют выдержанный минералого-петрографический состав. В нижней части разреза выделяется покров базальтов и трахибазальтов, который встречается по Тайдонскому профилю и в северной части Бунгарапской впадины (устье р. Кожухта) (обр. N-85-08, табл. 1, обр. К-24в, табл. 2). Вышележащие покровы представлены андезибазальтами и трахиандезибазальтами. Все породы имеют рыжевато-бурый цвет на выветрелых поверхностях и темно-серый до черного в свежем изломе. Структура породы порфировая, реже афировая. Текстура массивная, нередко в кровле потока преобладают породы с миндалекаменной текстурой. Верхние части потоков представлены андезибазальтами с гиалопилитовой структурой основной массы. Центральные части сложены более раскристаллизованными лавами с интерсертальной и пойкилоофитовой структурами. Иногда наблюдается субпараллельная ориентировка, образующая пилотакситовую структуру.

Андезибазальты нижнего покрова Караканского карьера имеют миндалекаменную или массивную текстуру, но преобладают миндалекаменные разновидности. Миндалины размером 0.1—5 см составляют 10—30 % от объема породы, выполнены халцедоном, опалом, кварцем, цеолитами, хлоритом и кальцитом с вкрапленниками пирита. Структура породы порфировая.

Для верхнего покрова характерны преимущественно тонкозернистые массивные андезибазальты. Структура порфировая, редко афировая, пойкилоофитовая. Текстура массивная, реже — миндалекаменная с равномерным распределением мелких миндалин (0.5—1 см), выполненных кальцитом, цеолитом, хлоритом, халцедоном. Структура основной массы пород обоих покровов — гиалопилитовая до интерсертальной, реже пилотакситовая.

Андезибазальты Елбакского карьера (Ажendarовский хребет) плотные, массивные, нередко с миндалекаменной текстурой. Миндалины выполнены халцедоном, кварцем, цеолитами и кальцитом. Структура порфировая с гиалопилитовой и интерсертальной основной массой.

Базальты и трахибазальты сложены оливином (10—15 %), плагиоклазом (60 %), клинопироксеном (0—5 %), стеклом (20 %), акцессорные минералы — титаномагнетит (1—3 %) (рис. 3, а).

Минералогический состав андезибазальтов Караканского и Ажendarовского хребтов: оливин (1—5 %), плагиоклаз (25—50 %), клинопироксен (5—20 %), стекло (30—60 %), акцессорные минералы: титаномагнетит (1—3 %), ильменит (1—3 %), апатит (0, *n* %) (рис. 3, б, в).

Дифференцированные силлы сыркашевского комплекса сложены долеритами, монцогаббро, монцодиоритами и кварцевыми монцодиоритами. Краевые фации представлены андезибазальтами и трахи-

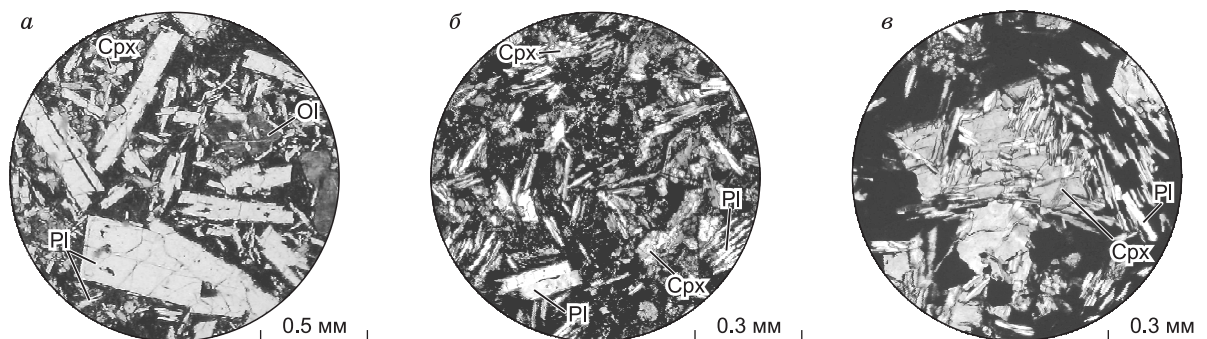


Рис. 3. Структуры пород салтымаковского комплекса.

а — базальт, плагиопорфировая структура с гиалопилитовой основной массой; б — андезибазальт, плагиопорфировая структура с гиалопилитовой основной массой; в — андезибазальт, плагиопорфировая структура с гиалопилитовой и микропойкилоофитовой структурами основной массы.

Таблица 1. Химический состав минералов вулканитов и силлов Кузбасса, мас. %

Компо- нент	О1 В-9-08 Кр2	О1 В-12-08 Кр2	О1 В-12-08 Кр2	О1 В-12-08 Кр2	О1 В-16-08 Кр2	О1 В-16-08 Кр2	О1 В-16-08 Кр2	О1 В-22-08 Ал	О1 В-22-08 Ал	О1 В-27-08 Лс	О1 В-27-08 Лс	О1 В-33-08 Нт	О1 В-33-08 Нт
SiO <sub>2</sub>	36.3	36.0	36.6	36.9	36.4	36.3	36.7	36.2	36.2	36.1	36.4	36.4	36.5
FeO	30.4	31.2	30.7	30.2	32.2	30.5	30.2	34.9	34.6	29.7	29.5	30.8	31.5
MnO	0.6	0.6	0.6	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5
MgO	31.0	32.3	30.8	32.0	30.1	31.2	31.8	28.2	28.0	31.5	31.8	31.3	30.9
CaO	0.3	0.3	0.4	0.3	0.4	0.4	0.3	0.4	0.4	0.4	0.3	0.4	0.4
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.03	0.06	0.04	0.06	0.04	0.05	0.03	0.02	0.02	0.03	0.04	0.02	0.02
Сумма	98.8	100.5	99.3	100.0	99.8	99.1	99.8	100.5	99.9	98.4	98.6	99.5	99.7
Mg#	64.5	64.9	64.1	65.3	62.5	64.6	65.2	59.0	59.0	65.4	65.8	64.4	63.7
Компо- нент	О1 В-33-08 Нт	О1 В-33-08 Нт	О1 В-33-08 Нт	О1 В-33-08 Нт	О1 В-33-08 Нт	О1 В-43-08 Ел	О1 В-43-08 Ел	О1 В-43-08 Ел	О1 В-43-08 Ел	О1 В-43-08 Ел	О1 В-43-08 Ел	О1 В-43-08 Ел	О1 В-43-08 Ел
SiO <sub>2</sub>	36.2	36.6	35.7	35.7	35.8	35.7	35.8	36.2	36.6	36.5	35.8	32.2	32.3
FeO	30.6	30.5	32.2	32.0	30.7	33.4	33.2	32.2	31.9	32.2	33.5	54.6	53.4
MnO	0.5	0.5	0.5	0.6	0.5	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.6	1.0	1.0
MgO	31.4	31.2	31.5	31.1	33.0	29.4	29.7	31.2	30.8	30.7	29.6	12.7	13.1
CaO	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.03	0.01	0.03	—	0.06	0.08	0.04	0.04	0.13	0.02	0.02	—	—
NiO	0.02	—	—	—	—	—	—	—	0.03	0.01	—	—	—
Сумма	99.1	99.1	100.3	99.7	100.6	99.9	99.9	100.7	100.3	100.2	99.9	100.6	99.9
Mg#	64.6	64.6	63.6	63.4	65.7	61.1	61.4	63.4	63.2	62.9	61.1	29.3	30.0
Компо- нент	П1 ф В-2-08 Кр1	П1 ф В-2-08 Кр1	П1 м В-2-08 Кр1	П1 м В-2-08 Кр1	П1 ф В-7-08 Кр2	П1 м В-7-08 Кр2	П1 фц В-9-08 Кр2	П1 фк В-9-08 Кр2	П1 ф В-9-08 Кр2	П1 м В-9-08 Кр2	П1 м В-12-08 Кр2	П1 м В-12-08 Кр2	П1 ф В-16-08 Кр2
SiO <sub>2</sub>	55.0	55.1	55.3	55.3	54.9	55.3	53.8	54.1	54.8	55.1	53.2	55.0	54.7
TiO <sub>2</sub>	0.08	0.09	0.12	0.11	0.08	0.07	0.06	0.05	0.09	0.09	0.07	0.09	0.06
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	27.9	27.7	27.3	27.4	27.9	27.0	27.7	28.5	27.8	27.7	28.4	28.0	28.2
FeO	0.3	0.5	0.7	0.8	0.9	1.3	1.3	0.6	0.5	1.1	0.9	0.5	0.4
CaO	11.0	10.9	10.5	10.6	11.0	10.4	11.0	11.7	10.9	11.0	12.0	11.4	10.9
Na <sub>2</sub> O	5.1	5.3	5.2	5.2	5.0	5.2	4.4	4.4	4.8	4.6	4.2	4.7	4.8
K <sub>2</sub> O	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.4	0.5	0.4	0.4	0.4	0.5
Сумма	99.9	100.3	99.9	100.1	100.3	100.0	99.3	99.9	99.5	100.3	99.4	100.2	99.6
Ап, %	52.8	51.5	50.6	51.1	53.0	50.8	56.1	58.0	54.0	55.6	60.1	55.9	53.9
Аб, %	44.1	45.1	45.9	45.5	43.9	46.0	41.1	39.8	43.3	41.8	37.9	41.6	43.4
Ог, %	3.2	3.4	3.6	3.3	3.1	3.2	2.8	2.2	2.7	2.6	2.1	2.5	2.7
Компо- нент	П1 м В-16-08 Кр2	П1 м В-16-08 Кр2	П1 ф В-22-08 Ал	П1 ф В-22-08 Ал	П1 м В-22-08 Ал	П1 м В-22-08 Ал	П1 ф В-27-08 Лс	П1 м В-27-08 Лс	П1 ф В-33-08 Нт	П1 м В-33-08 Нт	П1 м В-33-08 Нт	П1 фц В-42-08 Ел	П1 фк В-42-08 Ел
SiO <sub>2</sub>	52.9	54.7	55.4	54.2	54.8	53.6	54.4	54.7	53.4	56.3	54.5	53.8	54.9
TiO <sub>2</sub>	0.07	0.07	0.07	0.06	0.12	0.08	0.07	0.07	0.07	0.11	0.09	0.05	0.06
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	28.8	28.2	28.2	28.1	27.5	28.4	28.0	28.0	29.0	26.5	28.1	28.5	27.6
FeO	0.8	0.5	0.4	0.5	0.8	0.8	0.3	0.5	0.3	0.6	0.6	0.4	0.4
CaO	12.0	10.9	11.3	11.2	10.6	11.6	11.0	11.1	11.8	9.5	11.0	11.4	10.5
Na <sub>2</sub> O	4.1	4.7	4.6	4.6	4.9	4.4	4.7	4.6	4.4	5.5	4.6	4.6	4.7
K <sub>2</sub> O	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.4	0.5	0.5	0.3	0.7	0.5	0.5	0.5
Сумма	99.2	99.6	100.7	99.2	99.4	99.5	99.0	99.6	99.6	99.3	99.6	99.5	98.9
Ап, %	60.4	54.8	56.1	55.8	52.6	57.8	54.7	55.5	58.4	47.1	55.5	56.0	53.7
Аб, %	37.4	42.6	41.5	41.7	44.6	39.7	42.5	41.8	39.6	49.0	41.6	41.1	43.0
Ог, %	2.2	2.6	2.4	2.5	2.8	2.5	2.8	2.7	2.0	3.9	2.9	2.9	3.3



Продолжение табл. 1

Компо- нент	Р1 ф В-42-08 Ел	Р1 м В-42-08 Ел	Р1 фц В-43-08 Ел	Р1 фк В-43-08 Ел	Р1 ф В-43-08 Ел	Р1 м В-43-08 Ел	Р1 фц N-85-08 Кож	Р1 фк N-85-08 Кож	Р1 м N-85-08 Кож	Р1 фц В-16-10 Майз	Р1 фк В-16-10 Майз	Р1 м В-16-10 Майз	Орт В-18-10 Майз
SiO <sub>2</sub>	54.8	54.9	54.3	55.0	55.9	54.5	57.7	53.7	53.5	57.5	55.6	55.4	67.3
TiO <sub>2</sub>	0.06	0.08	0.06	0.10	0.08	0.11	0.07	0.06	0.06	0.04	0.07	0.06	—
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	28.3	27.3	27.8	27.4	27.2	27.6	26.4	28.7	28.5	26.1	27.7	27.8	18.6
FeO	0.4	0.6	0.4	0.4	0.4	0.7	0.2	0.6	0.5	0.3	0.3	0.4	—
CaO	11.3	10.3	10.5	10.3	9.9	10.9	9.3	12.3	12.5	9.0	10.7	10.7	0.3
Na <sub>2</sub> O	4.6	5.1	5.5	5.4	5.6	5.1	5.2	3.9	4.0	5.9	5.1	5.1	4.9
K <sub>2</sub> O	0.5	0.6	0.5	0.6	0.6	0.6	0.9	0.4	0.4	0.8	0.5	0.5	9.5
Сумма	100.1	99.1	99.2	99.3	99.9	99.6	99.8	99.6	99.4	99.6	99.9	99.9	100.7
Ап, %	55.8	50.7	50.1	49.7	47.8	52.6	47.2	61.8	61.8	43.7	52.1	52.1	1.6
Ав, %	41.4	45.8	47.1	46.9	48.6	44.1	47.3	35.6	35.7	51.8	45.2	45.3	43.0
Ог, %	2.8	3.5	2.8	3.3	3.6	3.3	5.4	2.6	2.5	4.5	2.6	2.6	55.3
Компо- нент	Срх фц В-2-08 Кр1	Срх фц В-2-08 Кр1	Срх фк В-2-08 Кр1	Срх м В-2-08 Кр1	Срх м В-2-08 Кр1	Срх м В-2-08 Кр1	Срх ф В-7-08 Кр2	Срх ф В-7-08 Кр2	Срх ф В-22-08 Ал	Срх фц N-85-08 Кож	Срх м N-85-08 Кож	Срх В-18-10 Майз	Срх Кзбс-3 Сырк
SiO <sub>2</sub>	51.8	52.0	52.2	50.4	51.3	51.6	51.1	52.3	51.5	50.1	51.9	51.8	49.9
TiO <sub>2</sub>	0.5	0.5	0.7	1.2	0.9	0.8	0.9	0.5	0.9	1.2	0.8	0.7	0.7
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.0	2.8	1.2	1.8	1.8	1.0	1.9	1.2	2.0	2.5	1.6	1.0	1.2
FeO	7.1	6.7	12.2	15.2	13.3	13.8	11.8	13.0	11.4	10.9	9.8	16.3	20.3
MnO	0.2	0.2	0.3	0.4	0.4	0.4	0.3	0.4	0.3	0.3	0.3	0.5	0.5
MgO	16.9	16.7	16.3	14.4	15.4	15.9	15.0	16.2	15.1	13.8	14.2	12.3	8.3
CaO	20.1	20.4	16.9	15.6	16.2	15.9	18.3	16.2	18.0	20.0	20.0	17.2	19.0
Na <sub>2</sub> O	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	—	0.01	0.10	0.03	0.16	0.07	0.03	0.02	0.14	0.20	0.14	0.01	—
Сумма	99.9	99.7	100.1	99.3	99.8	99.8	99.6	100.0	99.6	99.3	99.1	100.2	100.2
Mg#	81.0	81.7	70.4	62.9	67.3	67.3	69.3	68.9	70.2	69.3	72.1	57.3	42.3
Еп, %	47.0	46.7	45.4	41.5	44.0	44.7	42.4	45.3	43.2	39.6	41.2	35.9	24.8
Fs, %	12.1	11.6	19.8	25.2	22.1	22.2	19.4	21.2	19.2	18.3	16.8	27.7	34.7
Wo, %	40.9	41.7	34.8	33.2	33.9	33.1	38.2	33.5	37.6	42.1	42.0	36.5	40.5
Компо- нент	Ti-Mgt В-7-08 Кр2	Ti-Mgt В-7-08 Кр2	Ti-Mgt В-7-08 Кр2	Ti-Mgt В-7-08 Кр2	Ti-Mgt В-7-08 Кр2	Ilm В-7-08 Кр2	Ilm В-7-08 Кр2	Ilm В-7-08 Кр2	Ilm В-7-08 Кр2	Вт В-18-10 Майз	Вт Кзбс-8 Сырк	Аmph В-22-10 Майз	Аmph Кзбс-8 Сырк
SiO <sub>2</sub>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	37.9	36.9	45.0	42.2
TiO <sub>2</sub>	23.9	23.0	23.8	23.7	24.3	49.7	49.4	49.2	50.2	4.0	3.3	1.4	1.2
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.9	1.9	1.9	1.9	1.8	0.2	0.2	0.2	0.2	12.0	11.0	6.0	6.1
FeO	70.4	70.2	69.8	69.8	68.7	46.5	46.0	46.3	46.8	23.8	27.9	24.8	29.3
MnO	0.7	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.1	0.2	0.4	0.5
MgO	2.0	1.7	1.8	1.9	1.9	2.3	2.3	2.4	2.2	9.8	7.6	7.7	4.3
CaO	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	9.8	9.7
Na <sub>2</sub> O	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.4	0.5	2.0	2.0
K <sub>2</sub> O	—	—	—	—	—	—	—	—	—	9.0	8.4	0.8	1.0
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.03	0.06	0.05	0.03	0.07	0.05	0.19	—	0.04	0.02	—	0.01	—
Сумма	99.6	97.6	98.0	97.9	97.4	99.4	98.8	98.7	100.2	97.0	95.8	97.9	96.1
Ti	0.44	0.43	0.44	0.44	0.45	0.93	0.93	0.92	0.93	—	—	—	—
Al	0.06	0.06	0.06	0.05	0.05	0.01	0.01	0.01	0.01	—	—	—	—
Cr	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.004	—	0.001	—	—	—	—
Fe <sup>3+</sup>	1.07	1.09	1.07	1.07	1.05	0.14	0.13	0.14	0.13	—	—	—	—

Компо- нент	Ti-Mgt	Ti-Mgt	Ti-Mgt	Ti-Mgt	Ti-Mgt	Ilm	Ilm	Ilm	Ilm	Vt	Vt	Amph	Amph
	В-7-08 Кр2	В-7-08 Кр2	В-7-08 Кр2	В-7-08 Кр2	В-7-08 Кр2	В-7-08 Кр2	В-7-08 Кр2	В-7-08 Кр2	В-7-08 Кр2	В-18-10 Майз	Кзбс-8 Сырк	В-22-10 Майз	Кзбс-8 Сырк
Fe <sup>2+</sup>	0.35	0.35	0.36	0.36	0.37	0.83	0.83	0.82	0.84	—	—	—	—
Mn	0.014	0.013	0.013	0.013	0.015	0.014	0.014	0.014	0.014	—	—	—	—
Mg	0.07	0.06	0.07	0.07	0.07	0.09	0.09	0.09	0.08	—	—	—	—

Примечание. Кр1 — Караканский карьер, нижний покров, Кр2 — Караканский карьер, верхний покров, Ал — Алексеевский карьер, Лс — Лиственничный карьер, Нт — Нижнетыхтинский карьер, Ел — Елбакский карьер, Кож — базальты и трахибазальты из устья Кожухты, Сырк — Сыркашевский силл, Майз — Майзасский силл. ОI — оливин, Pl — плагиоклаз, Ort — ортоклаз, Срх — клинопироксен, ф — фенокристы, м — микролиты, ц — центральная часть зерна, к — краевая часть зерна, Ti-Mgt — титаномагнетит, Ilm — ильменит, Vt — биотит, Amph — амфибол. Анализы выполнены на электронном микроанализаторе Camebax-Micro в ИГМ СО РАН, г. Новосибирск, аналитик Е.Н. Нигматулина. Анализы Кзбс-1, Кзбс-8, Кзбс-3 приведены по данным из работы [Федосеев и др., 2005].

Таблица 2. Содержания петрогенных оксидов (мас. %), редких и редкоземельных элементов (г/г) в вулканитах и силлах Кузбасса

Компо- нент	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	В-1-08 Кр1	В-2-08 Кр1	В-3-08 Кр1	В-4-08 Кр1	В-5-08 Кр1	В-6-08 Кр2	В-7-08 Кр2	В-8-08 Кр2	В-9-08 Кр2	В-10-08 Кр2	В-11-08 Кр2	В-12-08 Кр2
SiO <sub>2</sub>	53.2	53.9	53.4	53.6	54.2	53.1	53.1	53.4	53.0	53.4	53.2	53.1
TiO <sub>2</sub>	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.7	13.8	13.6	14.1	12.3	13.7	13.8	13.9	14.0	13.8	14.1	13.7
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10.8	11.7	11.7	11.3	11.5	4.8	3.9	12.4	3.7	12.4	4.3	12.5
FeO	—	—	—	—	—	6.9	7.8	—	7.9	—	7.0	—
MnO	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
MgO	2.7	3.0	3.2	3.0	2.9	3.7	3.7	3.2	3.7	3.7	3.5	3.6
CaO	7.1	7.1	7.0	7.1	7.4	7.2	7.4	7.6	7.5	7.6	7.7	7.6
Na <sub>2</sub> O	3.1	3.6	3.1	3.3	2.6	3.1	3.2	3.3	3.2	3.1	3.2	3.0
K <sub>2</sub> O	1.9	1.3	2.1	1.9	1.9	2.2	1.7	1.7	1.7	1.7	1.6	1.9
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.5	0.5	0.5	0.6	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
П.п.п.	4.3	2.5	2.5	2.7	2.5	1.4	1.6	1.7	1.5	1.4	1.7	1.6
Сумма	99.4	99.4	99.2	99.5	99.4	99.3	99.3	99.3	99.4	99.2	99.4	99.2
Mg#	32.8	33.9	34.8	34.3	33.3	37.0	36.7	33.9	37.1	36.9	36.5	36.1
Компо- нент	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
	В-13-08 Кр2	В-14-08 Кр2	В-15-08 Кр2	В-16-08 Кр2	В-17-08 Кр2	В-18-08 Кр2	В-20-08 Ал	В-25-08 Лс	В-32-08 Нт	В-34-08 Ел	В-35-08 Ел	В-36-08 Ел
SiO <sub>2</sub>	52.8	53.2	53.2	53.2	52.5	52.8	53.5	52.8	52.9	53.3	53.4	53.6
TiO <sub>2</sub>	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.8	1.8	1.8
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.8	14.1	13.9	14.0	13.9	13.7	13.7	13.8	13.9	13.2	13.7	13.7
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.8	12.1	3.7	12.5	4.1	4.3	4.2	4.5	3.7	4.3	11.9	3.8
FeO	7.9	—	7.7	—	7.5	7.1	7.2	6.9	7.7	6.8	—	7.3
MnO	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
MgO	3.8	3.5	3.6	3.7	3.7	3.4	3.1	3.6	3.5	3.2	3.4	3.2
CaO	7.5	7.7	7.5	7.6	7.5	7.5	7.6	7.6	7.6	7.1	7.0	7.1
Na <sub>2</sub> O	3.0	3.1	3.1	3.1	3.0	3.0	2.9	2.8	3.2	2.9	3.1	3.1
K <sub>2</sub> O	1.9	1.8	1.9	1.9	1.9	2.0	1.9	2.2	1.5	2.5	2.4	2.4
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5
П.п.п.	1.7	1.7	1.6	1.2	2.3	2.4	1.9	2.2	2.1	2.4	1.8	1.7
Сумма	99.3	99.3	99.3	99.3	99.4	99.2	99.1	99.2	99.3	98.9	99.2	99.2
Mg#	37.4	36.4	36.8	37.0	37.1	35.5	33.3	36.9	36.2	34.7	35.8	34.8

Продолжение табл. 2

Компо- нент	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
	В-37-08 Ел	В-38-08 Ел	В-39-08 Ел	В-40-08 Ел	В-41-08 Ел	В-42-08 Ел	В-43-08 Ел	В-44-08 Ел	В-45-08 Ел	В-46-08 Ел	В-47-08 Ел	924 Ям
SiO <sub>2</sub>	53.5	53.6	53.4	53.5	53.7	53.7	53.5	53.4	53.4	53.5	53.7	52.2
TiO <sub>2</sub>	1.9	1.9	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.6
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.5	13.7	13.5	13.5	13.6	13.6	13.5	13.6	13.7	13.7	13.6	14.4
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.0	3.6	3.7	11.8	4.0	11.8	3.8	11.9	3.4	3.8	3.7	5.9
FeO	—	7.4	7.3	—	7.1	—	7.3	—	7.6	7.3	7.3	7.5
MnO	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
MgO	3.2	3.3	3.2	3.2	3.3	3.2	3.2	3.3	3.3	3.4	3.3	4.5
CaO	7.0	7.0	7.0	7.0	7.1	7.0	7.2	7.1	7.1	6.9	7.1	6.6
Na <sub>2</sub> O	3.0	3.2	3.1	3.1	3.2	3.1	3.2	3.0	3.1	3.2	3.2	3.0
K <sub>2</sub> O	2.4	2.3	2.3	2.4	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	1.3
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
П.п.п.	1.9	1.9	2.3	2.2	1.6	1.9	1.9	2.0	1.9	1.8	1.7	1.6
Сумма	99.2	99.3	99.3	99.2	99.2	99.2	99.1	99.2	99.3	99.3	99.2	99.3
Mg#	34.9	35.4	35.2	34.5	35.5	35.1	34.7	35.7	35.1	36.2	35.4	38.3
Компо- нент	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
	К-24в Кож	К-716 Кр	К-55в	К-42а	К-141а	К-546	К-53м	К-17г	К-78г Ос	К-53г Ид	S10.1	S4.1 Кр
SiO <sub>2</sub>	49.3	52.7	51.4	52.2	51.8	52.1	52.0	51.7	53.2	53.4	53.2	54.3
TiO <sub>2</sub>	1.6	1.7	2.1	1.5	1.6	1.7	2.3	1.6	1.9	2.3	1.8	1.8
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.1	14.1	14.1	14.0	14.9	14.4	14.4	14.6	15.1	13.8	14.3	14.6
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.6	13.8	3.1	3.8	2.2	2.7	4.1	5.9	3.9	3.5	12.3	12.3
FeO	9.3	10.7	9.4	8.8	10.4	9.8	8.1	6.6	8.0	9.7	—	—
MnO	0.2	0.3	0.3	0.3	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
MgO	5.2	4.2	3.6	5.3	4.1	4.3	3.2	3.6	3.7	2.5	3.8	3.8
CaO	8.7	7.8	8.2	8.4	8.7	8.2	6.4	8.6	7.0	6.4	8.0	7.5
Na <sub>2</sub> O	3.2	3.2	3.4	3.0	2.7	3.4	3.2	3.2	3.0	3.7	3.9	3.7
K <sub>2</sub> O	1.0	1.5	0.8	0.9	1.0	0.9	1.9	0.8	2.5	1.1	0.9	1.7
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.6	0.5	0.8	0.5	0.3	0.5	0.9	0.5	0.7	0.7	0.5	0.5
П.п.п.	1.8	1.6	2.7	1.8	1.5	1.9	3.2	2.2	1.2	2.8	1.3	1.1
Сумма	99.4	100.2	100.1	100.5	99.4	100.1	99.8	99.4	100.6	100.1	100.3	101.6
Mg#	44.5	24.4	34.8	43.3	37.2	38.5	32.3	35.0	36.4	25.5	38.1	37.9
Ba	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	607	652
Rb	13	43	58	24	28	58	85	5	57	99	29	48
Sr	512	471	569	469	318	515	418	620	461	421	519	538
Cs	1.4	2.2	5.2	1.5	1.9	4.1	7.0	1.1	1.1	4.7	—	—
Cr	45	22	28	20	33	54	40	57	33	46	—	—
Co	37	24	22	25	26	25	30	33	21	20	—	—
Sc	31	31	28	32	32	29	32	28	26	27	—	—
Y	41	44	49	42	29	40	51	40	50	55	48	49
Zr	241	226	308	220	152	208	266	202	302	314	241	246
Nb	20	14	21	19	13	13	28	12	20	31	16	14
Ta	0.8	0.8	1.1	0.7	0.7	0.8	1.6	0.7	0.9	1.2	—	—
Hf	5.3	4.7	6.5	4.3	4.2	5.1	8.1	5.2	5.9	6.4	—	—
U	3.5	4.7	4.5	3.6	1.5	2.7	6.2	2.1	2.6	3.0	—	—
Th	4.9	4.2	7.0	4.6	4.3	5.0	10.7	4.6	6.6	7.5	—	—
La	43	36	47	31	30	36	69	31	44	48	33	33



Компо- нент	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
	К-24в Кож	К-716 Кр	К-55в	К-42а	К-141а	К-546	К-53м	К-17г	К-78г Ос	К-53г Ид	S10.1	S4.1 Кр
Ce	84	67	91	58	56	69	130	62	83	88	74	76
Pr	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	9	9
Nd	45	36	50	30	30	36	66	34	43	45	40	40
Sm	11.5	8.8	12.6	7.5	7.5	8.9	16.1	8.8	10.6	11.0	7.9	8.1
Eu	2.6	2.1	2.7	2.0	2.0	2.1	3.2	2.1	2.2	2.4	2.1	2.2
Gd	11.1	8.1	11.1	7.5	7.5	7.3	13.7	7.9	8.6	10.2	7.1	7
Tb	1.8	1.4	1.8	1.3	0.3	1.3	2.3	1.4	1.5	1.7	—	—
Dy	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	6.5	6.7
Er	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3.8	3.9
Yb	4.7	3.8	4.8	3.5	3.2	4.0	6.2	4.4	4.3	4.7	4.2	4.2
Lu	0.7	0.6	0.7	0.5	0.5	0.6	0.9	0.6	0.6	0.7	0.4	0.4
Компо- нент	49	50	51	52	53	54	55	56				
	S15.2 Кырг	Кр-25 Кр	Кр-13а Ос	Кр-13 Ос	Т-15а Изыл	Кзбс-8 Сырк	Кзбс-21 Майз	Кзбс-2 Кийз				
Ba	711	—	—	—	—	—	—	—				
Rb	23	48	19	25	39	80	33	58				
Sr	529	399	549	547	649	406	462	450				
Cs	—	1.8	2.0	2.3	2.0	3.5	1.1	3.0				
Cr	—	20	25	41	34	8	19	18				
Co	—	25	21	22	30	14	18	20				
Sc	—	32	28	29	31	28	24	27				
Y	49	—	—	—	35	77	63	48				
Zr	245	—	—	—	217	437	317	302				
Nb	16	—	—	—	9	16	22	15				
Ta	—	0.8	0.9	1.1	0.8	1.3	1.3	1.2				
Hf	—	5.3	6.4	6.7	5.4	8.2	7.7	7.4				
U	—	2.3	2.8	3.6	1.0	3.8	3.1	3.2				
Th	—	4.4	5.7	6.0	4.0	7.9	8.1	7.1				
La	33	33	41	42	40	57	43	52				
Ce	74	70	88	93	79	114	101	101				
Pr	8	—	—	—	—	—	—	—				
Nd	39	37	50	49	43	60	52	53				
Sm	8	8.6	10.4	11.0	9.6	13.0	11.1	11.9				
Eu	2.2	2.1	2.3	2.4	2.4	2.7	2.3	2.5				
Gd	7.1	9.2	9.6	10.3	9.1	11.7	9.2	11.4				
Tb	—	1.4	1.5	1.6	1.5	1.9	1.5	1.9				
Dy	6.7	—	—	—	—	—	—	—				
Er	3.9	—	—	—	—	—	—	—				
Yb	4	4.7	4.7	5.1	4.4	5.9	5.0	5.1				
Lu	0.4	0.6	0.7	0.7	0.6	0.9	0.7	0.7				

Примечание. Ям — андезибазальты Яминской свиты, Ид — интрузия долеритов, Кырг — Кыргайский силл, Ос — Осиновский силл, Изыл — Изылинский силл, Кийз — Кийзакская дайка. Химические анализы пород (№ 1—35) получены рентгенофлуоресцентным методом в ИГМ СО РАН (Новосибирск), аналитик Н.М. Глухова. Данные по FeO получены методом мокрой химии в Институте геохимии СО РАН (Иркутск), аналитик Т.В. Ожогина. Анализы образцов № 36 приведены по данным из работы [Лавренов и др., 2001], № 37—46 — по данным из работы [Крук и др., 1999], № 47—49 — по данным из работы [Буслов и др., 2010], № 50—56 — по данным из работы [Федосеев и др., 2005].

андезибазальтами. Минералогический состав (%) монцогаббро: оливин (10—15), плагиоклаз (40—50), калишпат (15), клинопироксен (10—15), кварц (6—8), роговая обманка (2), биотит (2), ильменит (1—2), титаномагнетит (1—2), апатит (0. *n*). монцодиорит: оливин (0—3), плагиоклаз (40—50), калишпат (12—15), клинопироксен (12—15), кварц (8—15), роговая обманка (2—4), биотит (2—4), ильменит (1—2), титаномагнетит (1—2), апатит (0. *n*); кварцевый монцодиорит: плагиоклаз (50), калишпат (10—15), клинопироксен (15), кварц (15), роговая обманка (5), биотит (10), ильменит (1—2), титаномагнетит (1—2), апатит (0. *n*).

### МИНЕРАЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

**Оливин** представлен порфиrowыми вкрапленниками или гломеросростками округлой или близкой к ней формы размером 0.5—1.0 мм в базальтах (обр. N-85-08, см. табл. 1) и до 0.15 мм в андезибазальтах и трахиандезибазальтах, а также наблюдается в виде мелких рассеянных зерен размером до 0.05—0.10 мм. Для оливина характерно интенсивное развитие замещающих его вторичных минералов — хлорита, гидрооксидов железа. По составу оливин во всех изученных породах отвечает гиалосидериту ( $\text{Fo}_{59-66}$ ) (см. табл. 1).

**Плагиоклаз** в базальтах и андезибазальтах встречается в виде порфиrowых вкрапленников и микролитов основной массы. Порфиrowые вкрапленники распределены в породе равномерно и составляют до 15 % от ее объема. Вкрапленники представлены таблитчатыми, изометричными, длинно-призматическими кристаллами или лейстами с соотношением длины и ширины 1:1—5:1, длиной от 0.3 до 2.5 мм (в среднем 0.5 мм). Порфиrowые вкрапленники обычно незональные, реже встречаются зональные кристаллы. Иногда они содержат большое количество включений стекла. Состав вкрапленников плагиоклаза в андезибазальтах отвечает андезин-лабрадору  $\text{An}_{48-58}$ .

Микролиты плагиоклаза основной массы составляют до 20—40 % от объема породы. Микролиты представлены идиоморфными лейстами и игольчатыми кристаллами с соотношением длины и ширины 10:1, расположенными без определенной закономерности или собранными в пучковидные, лучистые агрегаты. Размеры лейст постоянны и не превышают 0.10—0.15 мм. Состав микролитов плагиоклаза в андезибазальтах также соответствует андезин-лабрадору —  $\text{An}_{47-60}$ . Состав плагиоклаза из базальтов —  $\text{An}_{47-62}$ .

**Клинопироксен** в андезибазальтах встречается в виде микролитов основной массы размером 0.01—0.05 мм, а в более раскристаллизованных породах центральных частей потоков — в виде изометричных и короткопризматических кристаллов размером от 0.2 до 0.4 мм, редко до 1 мм. Клинопироксен зональный, внешняя кайма крупных кристаллов часто содержит включения вулканического стекла. По составу клинопироксен отвечает авгиту  $\text{En}_{47-42}\text{Fs}_{25-12}\text{Wo}_{42-33}$ ,  $\text{Mg}\# = 82-63$ . Зерна клинопироксена обычно не затронуты процессами вторичных изменений, изредка замещаются игольчатыми агрегатами актинолита и кальцитом. Состав клинопироксена из базальтов (обр. N-85-08) —  $\text{En}_{41-40}\text{Fs}_{18-17}\text{Wo}_{42}$ ,  $\text{Mg}\# = 72-69$  (см. табл. 1).

**Титаномагнетит** содержится в количестве 1—3 % и представлен в виде мелких зерен размером 0.005 мм, реже агрегатами размером до 0.1 мм. В более раскристаллизованных породах титаномагнетит образует изометричные зерна размером 0.05—0.2 мм.

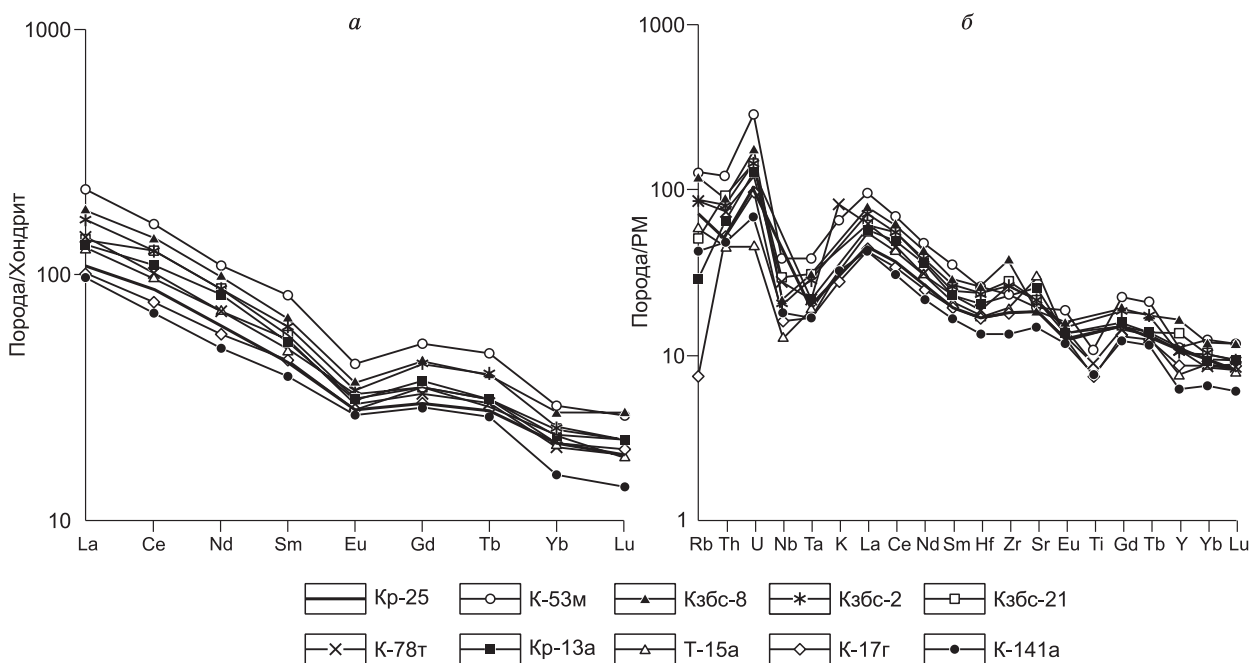
**Ильменит** встречается в центральных частях потоков в количестве не более 1-3% в виде изометричных кристаллов размером 0.1—0.2 мм.

**Вулканическое стекло.** Частично девитрифицированное вулканическое стекло составляет до 30—60 % от объема породы и занимает промежутки между лейстами плагиоклаза и кристаллами клинопироксена.

Оливин в дифференцированных силлах сыркашевского комплекса представлен гортонолитом  $\text{Fo}_{29-30}$ , плагиоклаз — андезин-лабрадором  $\text{An}_{44-52}$ . Вкрапленники плагиоклаза незональные, реже встречаются зональные. Клинопироксен по составу отвечает авгиту  $\text{En}_{36-25}\text{Fs}_{34-28}\text{Wo}_{41-36}$ , также встречаются биотит и калишпат (см. табл. 1).

### ПЕТРОХИМИЧЕСКАЯ И ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Эффузивы, вскрытые у устья Кожухты, представлены базальтами и трахибазальтами (обр. К-24в, см. табл. 2). Петрохимические характеристики вулканитов Караканского и Ажendarовского хребтов варьируют в узком диапазоне и, согласно классификации [Петрографический кодекс, 2009], соответствуют андезибазальтам и трахиандезибазальтам. Следует отметить, что для химического анализа отбирались образцы без миндалинов, поэтому соответствие состава этих пород андезибазальтам не связано с примесью халцедона. Низкая основность плагиоклаза, как и высокая железистость вкрапленников оливина, согласуется с отнесением этих пород к андезибазальтам.



**Рис. 4.** Диаграмма распределения редкоземельных элементов для андезибазальтов Кузбасса, нормированных по хондриту (*а*) и примитивной мантии (*б*).

Нормировочные значения взяты из работ [Boynnton, 1984; Sun, McDonough, 1989]. Кр-25 — базальт, Караканский хребет; К-53м — базальт, р. Ниж. Терсь; Кзбс-8 — габбро, Сыркашевский силл; Кзбс-2 — долерит, Кийзакская дайка; Кзбс-21 — долерит, Майзасский силл; К-78г — долерит, р. Томь; Кр-13а — базальт, Осиновский силл; Т-15а — микродолерит, Изылинский силл; К-17г — базальт, р. Томь у г. Сосновой (Бабий камень); К-141а — базальт, р. Томь.

Пересчет химического состава вулканитов на нормативные минералы по методу CIPW дает следующие результаты (мас. %): ортоклаз — 16—9, альбит — 29—25, анортит — 20—16, диопсид — 7—6, ортопироксен — 23—18, магнетит — 5—3, ильменит — 4—3, кварц — 9—6 мас. %.

По содержанию  $TiO_2$  (2.4—1.6 мас. %, в среднем 1.8 мас. %,  $n = 37$ ) андезибазальты Караканского и Ажендаровского хребтов близки к высокотитанистым базальтам сыверминской (2.8—1.5 мас. %  $TiO_2$ , в среднем 1.8 мас. %,  $n = 7$ ) и гудчихинской (2.3—1.2 мас. %  $TiO_2$ , в среднем 1.7 мас. %,  $n = 10$ ) свит Норильского района, располагающихся на нижних стратиграфических уровнях трапповой провинции [Lightfoot et al., 1990; Криволицкая, Рудакова, 2009]. В вышележащих низкотитанистых вулканитах хаканчанской (1.1—0.9 мас. %  $TiO_2$ , в среднем 1.0 мас. %,  $n = 4$ ), туклонской (1.0 мас. %  $TiO_2$ ) и надеждинской (1.3—0.7 мас. %  $TiO_2$ , в среднем 1.0 мас. %,  $n = 25$ ) свит Норильского района содержание титана все же ниже, чем в вулканитах Кузбасса в целом (2.3—0.8 мас. %  $TiO_2$ , в среднем 1.6 мас. %,  $n = 28$ ) [Кутолин, 1963; Lightfoot et al., 1990; Криволицкая, Рудакова, 2009].

Магнезиальность андезибазальтов Караканского и Ажендаровского хребтов (Mg#) варьирует от 35 до 31 и в среднем составляет 33 ( $n = 35$ ) (11.3—9.8 мас. %  $FeO_{\text{сум.}}$ , 3.8—2.7 мас. % MgO). Для вулканитов Кузбасса в целом также характерна низкая магнезиальность — Mg# = 44—23, в среднем 35 ( $n = 26$ ) (16.2—11.3 мас. %  $FeO_{\text{сум.}}$ , 5.3—2.3 мас. % MgO), что в целом ниже, чем для базальтов Норильского района — Mg# = 60—27, в среднем 48 ( $n = 72$ ) (15.6—6.8 мас. %  $FeO_{\text{сум.}}$ , 8.4—2.6 мас. % MgO) [Кутолин, 1963; Lightfoot et al., 1990; Криволицкая, Рудакова, 2009].

Распределение редкоземельных элементов (РЗЭ) в андезибазальтах Караканского хребта аналогично распределению в вулканитах и силлах из других районов Кузбасса (рис. 4). Для вулканитов и силлов Кузбасса характерно высокое суммарное содержание РЗЭ (от 138 до 307 г/т) [Федосеев и др., 2005] (см. табл. 2). Согласно графикам распределения РЗЭ, нормированным по хондриту C1 [Boynnton, 1984] (см. рис. 4, *а*), все эти породы значительно обогащены легкими лантаноидами по отношению к тяжелым —  $(La/Yb)_{\text{ch}}$  — 7.5—4.7, в среднем 6.2, и деплетированы тяжелыми —  $(Sm/Yb)_{\text{ch}}$  — 2.8—2.0, в среднем 2.4. Относительно средних лантаноидов также наблюдается обогащение легкими —  $(La/Sm)_{\text{ch}}$  — от 2.7 до 2.2, среднее значение — 2.5. Нормализованное по хондриту содержание РЗЭ в вулканитах и силлах Кузбасса варьирует в следующих пределах: 220—70 хондритовых единиц для легких лантаноидов, 110—30 — для средних, 50—14 — для тяжелых.

Таблица 3. Содержание ЭПГ в вулканитах и силлах Кузбасса, мг/г

Комплекс	Карьер, силл	Порода	Os	Ir	Ru	Rh	Pt	Pd	Re
Салтымаков-ский	Елбакский	Андезибазальт	0.001	0.009	0.170	0.013	0.09	0.04	0.13
	п. Осиново	»	0.039	0.002	0.007	0.006	0.40	0.10	0.10
	Караканский	»	0.081	0.038	0.064	0.009	0.29	0.10	0.17
	»	»	0.024	0.027	0.019	0.004	0.14	0.08	0.14
	Барзасский	Долерит	0.001	0.003	0.052	0.001	0.38	0.05	0.42
Сыркашев-ский	Сыркашевский	Монцогаббро	0.007	0.013	0.029	0.005	0.39	0.10	0.08
	»	»	0.011	0.011	0.150	0.011	0.29	0.06	0.03
	»	Долерит	0.001	0.010	0.260	0.020	0.49	0.14	0.18
	»	Монцогаббро	0.017	0.005	0.082	0.004	2.50	0.15	0.24

Примечание. Содержание элементов платиновой группы (ЭПГ) определено методом изотопного разбавления ICP-MS в Институте геологии и минералогии СО РАН (Новосибирск), аналитики И.В. Кузнецова, С.В. Палесский.

Графики распределения элементов, нормированных по примитивной мантии (PM) [Sun, McDonough, 1989] (см. рис. 4, б), также обнаруживают обогащение легкими лантаноидами  $((La/Yb)_{PM} — 8—5)$  и крупноионными литофильными элементами  $((U)_{PM} — 300—50, (U/La)_{PM} — 4.3—0.8, \text{ среднее } 2.5)$  и деплетированность тяжелыми лантаноидами  $(Gd/Yb)_{PM} — 2.0—1.5, \text{ в среднем } 1.73$ . Геохимической особенностью вулканитов и силлов Кузбасса является наличие выраженного минимума по Nb, Ta, Ti и Eu  $((La/Nb)_{PM} — 4.5—1.6, (La/Ta)_{PM} — 3.2—2.0, Eu/Eu^* — 0.7)$ , максимума по U. Сходство геохимических особенностей вулканитов Кузбасса и одновозрастных силлов базитового состава может свидетельствовать о происхождении этих пород из единого мантийного источника.

Вулканиты Кузбасса характеризуются низкими содержаниями элементов платиновой группы: Os — 0.02, Ir — 0.01, Ru — 0.09, Rh — 0.01, Pt — 0.4, Pd — 0.09 мг/г (табл. 3).

На основе программы COMAGMAT 3.5 [Ariskin et al., 1993] определены условия кристаллизации магмы при формировании андезибазальтовых покровов — температура начала кристаллизации — 1109—1105 °С, фугитивность кислорода ( $f_{O_2}$ ) с учетом присутствия в породе титаномагнетит-ильменитовой ассоциации, вероятно, соответствует буферному равновесию QFM-NNO.

### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Вопрос о фациальной природе траппов Кузбасса, вулканической (покровы) или субвулканической (силлы), во многом является дискуссионным [Федосеев и др., 2005; Буслов и др., 2010]. Хотя Караканский и Елбакский карьеры не вскрывают ни верхнего, ни нижнего контактов андезибазальтовых тел, но геологические и петрографические особенности позволяют сделать вывод об их покровной фациальной принадлежности. В андезибазальтах Караканского и Елбакского карьеров повсеместно наблюдается миндалекаменная текстура при низкой степени раскристаллизованности пород. Более раскристаллизованные андезибазальты встречаются лишь в центральных частях, но даже при мощности разреза 60—70 м нет признаков ни дифференциации расплава, ни полной раскристаллизации стекловатых пород, что было бы характерно даже для маломощных силлов. Столбчатая отдельность, наблюдаемая в центральных частях андезибазальтовых тел, и миндалекаменная текстура, как правило, характерны для пород эффузивной фаии. Разное направление и углы падения отдельности на разных горизонтах Караканского карьера свидетельствуют о неоднородности андезибазальтовой толщи, в которой по этим признакам можно выделить несколько потоков.

Эффузивный характер андезибазальтов мальцевской свиты доказывается их чередованием с вулканогенно-осадочными породами — туфопесчаниками, туфоалевролитами и туфами. Ритмичное чередование туфогенных пород с покровами вулканитов характерно и для отложений, вскрытых Караканским и Елбакским карьерами. Толщи вулканитов при этом имеют сложное строение и состоят из нескольких маломощных покровов, границы которых обозначены закалочными зонами, сложенными вулканическим стеклом. Косвенными признаками вулканической природы андезибазальтовых толщ являются их повсеместное согласное залегание с вмещающими породами, отсутствие дочерних даек и следов высокотемпературного метаморфизма в верхнем контакте покровов с вышележащими вулканогенно-осадочными породами.

Таким образом, геологические и петрографические особенности позволяют сделать вывод о том, что андезибазальты, вскрытые Караканским и Елбакским карьерами, имеют вулканическое происхождение и представляют собой покровы.

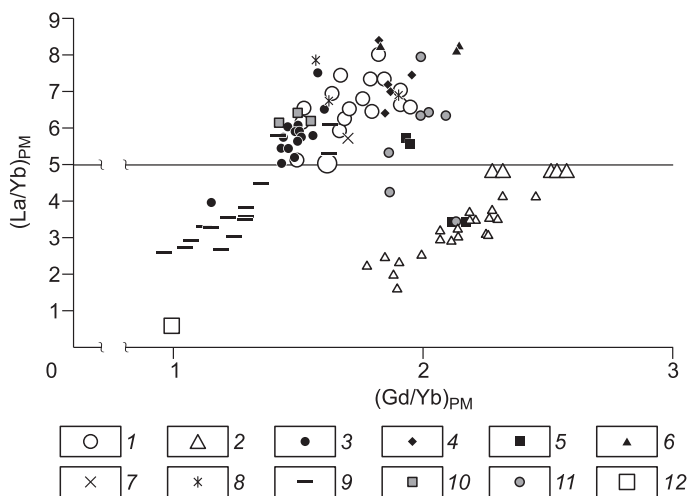
На Кыргайском карьере установлен силл андезибазальтов мощностью 15 м, образующий в верхнем контакте выступы и западины с вышележащими осадочными породами [Buslov et al., 2007]. Вмещающие породы представлены песчаниками, алевролитами и линзами конгломератов мальцевской свиты. Однако силл образует самостоятельное пластовое тело и не связан с покровами андезибазальтов Караканского хребта. Вероятно, Кыргайский силл сходен по формационной принадлежности пространственно сближенному с ним Осиновскому силлу (см. рис. 1).

Особенностью вулканитов Кузбасса является выдержанность петрографического, минералогического и петрохимического состава, который незначительно варьирует как в пределах мощных покровов, так и на больших территориях. Примером такого единообразия составов могут служить андезибазальты Караканского и Елбакского карьеров, расположенных друг от друга на расстоянии около 70 км. Вулканиды, вскрытые этими карьерами, сходны как по петролого-минералогическому и петрохимическому составу, так и по своим структурно-текстурным особенностям. Не наблюдается заметных вариаций состава и в вертикальном разрезе андезибазальтовых толщ — мощностью 40 и 70 м в пределах Караканского карьера и мощностью 60 м в Елбакском карьере. Такой однородный петролого-минералогический состав вулканитов как по разрезу, так и по площади указывает на незначительное влияние на состав родоначального расплава процессов коровой контаминации, а также на сходные условия дифференциации в промежуточных камерах.

Деплетированность тяжелыми лантаноидами андезибазальтов Караканского и Елбакского хребтов, так же как и вулканитов и силлов других районов Кузбасса, свидетельствует о присутствии граната в мантийном источнике родоначальных расплавов этих пород. Отношение  $(Gd/Yb)_{PM}$ , являющееся показателем глубинности образования расплавов, в вулканитах и силлах Кузбасса варьирует от 2.0 до 1.5, в среднем 1.73, что ниже, чем в базальтах Килауэа (Гавайи) (от 2.6 до 2.3, в среднем 2.4) [Hofmann et al., 1984], базальтах Ланаи (Гавайи) (от 2.5 до 1.8, в среднем 2.1) [West et al., 1992] и вулканитах ивакинской, сыверминской и гудчихинской свит Норильского района (от 2.2 до 1.8, в среднем 2.0) [Криволицкая, Рудакова, 2009]. Однако отношение  $(Gd/Yb)_{PM}$  в вулканитах и силлах Кузбасса выше, чем в базальтах хакачанской, туклонской, надеждынской свит Норильского района (от 1.6 до 1.2, в среднем 1.5) [Криволицкая, Рудакова, 2009] и пермтриасовых платобазальтах Западно-Сибирского бассейна (от 1.9 до 1.0, в среднем 1.3) [Медведев и др., 2003; Reichow et al., 2005] (рис. 5). Моделирование частичного плавления примитивного мантийного источника предполагает образование базальтов Килауэа и пород гудчихинской свиты при 10—20 % частичном плавлении гранатового перидотита при давлении 40 кбар [Reichow et al., 2005]. Согласно термодинамической модели Гавайского плюма [Watson, McKenzie, 1991; Watson, 1993], большая часть гавайских пород образовалась при 5—15 % частичном плавлении мантийного источника, варьирующего по составу от примитивного до деплетированного, в области устойчивости граната или в гранат-шпинелевой переходной зоне, на глубине от 75 до 120 км. Низкотитанистые базальты хакачанской, туклонской и надеждынской свит Норильского района, так же как и западносибирские платобазальты, образовались на меньшей глубине и при большей степени плавления мантийного плюма. Происхождение западносибирских платобазальтов связывают с 20 % частичным плавлением примитивной верхней мантии в поле устойчивости шпинели или в гранат-шпинелевой переходной зоне при давлении менее 30 кбар [Reichow et al., 2005]. Таким образом, можно предполагать образование родоначальных расплавов вулканитов и силлов Кузбасса в гранат-шпинелевой переходной зоне, которой соответствуют глубина от 85 до 95 км и давление от 28 до 31 кбар [Watson, 1993; Robinson, Wood, 1998].

**Рис. 5. Соотношение  $(La/Yb)_{PM}$ — $(Gd/Yb)_{PM}$  для андезибазальтов Кузбасса в сравнении с гавайскими базальтами, базальтами Норильского района и Западно-Сибирского ареала.**

В построении графика использованы данные из работ [Hofmann et al., 1984; West et al., 1992; Федосеев и др., 2005; Reichow et al., 2005; Криволицкая, Рудакова, 2009]. 1 — вулканиды Кузбасса, крупным значком показаны андезибазальты Караканского хребта; 2—11 — базальты: 2 — Ланаи (Гавайи), крупным значком показаны базальты Килауэа (Гавайи); 3 — надеждынской и хакачанской свит, 4 — сыверминской, 5 — гудчихинской, 6 — ивакинской, 7 — ершовской, 8 — хохряковской, 9 — пермяковской и сем-тагской свит, 10 — Томского ареала, 11 — Новосибирского ареала, 12 — N-MORB.





Согласно экспериментальным данным по плавлению мантийных перидотитов, содержание MgO в родоначальных расплавах, образовавшихся при давлении 30 кбар, должно быть не менее 9—13 % [Takahashi, 1983; Hirose, Kushiro, 1993; Herzberg, Zhang, 1996]. Эти значения значительно выше, чем в исследованных андезибазальтах Караканского и Ажандаровского хребтов (3.8—2.7 мас. % MgO), что не позволяет рассматривать их как нефракционированные мантийные выплавки. Дифференциация родоначальных расплавов кузбасских андезибазальтов, вероятно, происходила в глубинных магматических камерах.

Образование на всей территории Кузбасса разновозрастных вулканитов, сходных по своим петролого-геохимическим и изотопным характеристикам, может быть обусловлено крупномасштабным базитовым магматизмом, связанным с плюмовым мантийным источником. Однако выраженная отрицательная Ta-Nb аномалия и минимум по Ti в вулканитах Кузбасса (см. рис. 4) являются показателями того, что субстратом для родоначальных расплавов могла быть надсубдукционная литосферная мантия. Вероятно, вулканиты Кузбасса наследуют геохимические характеристики раннепалеозойской надсубдукционной мантии, частичное плавление которой за счет теплового воздействия плюмового мантийного источника дало начало их материнским расплавам.

Вулканиты Кузбасса образовались из обедненного мантийного источника, на что указывает положительное значение  $\epsilon_{Nd}$  от +2.3 до +3.1 [Крук и др., 1999]. Вулканиты Кузбасса и Сибирской платформы имеют изотопное отношение  $^{87}Sr/^{86}Sr$  от 0.7043 до 0.7056 [Reichow et al., 2010], что допускает незначительную контаминацию расплава в процессе его эволюции материалом верхней коры [Фор, 1989]. Однако для Кузбасса такие изотопные соотношения в породах могут быть первичными характеристиками метасоматизированной надсубдукционной мантии без участия коровой контаминации.

Авторы выражают благодарность О.М. Туркиной, Э.В. Сокол, В.А. Кутолину, Р.А. Шелепаеву, Г.А. Бабину, Г.С. Федосееву, А.В. Вишневному за советы и замечания, позволившие значительно улучшить работу, О.П. Герасимову за помощь в проведении экспедиционных работ, а также Е.Н. Нигматулиной за помощь в аналитических исследованиях.

Работа выполнена при поддержке РФФИ 10-05-00515-а, а также совета по грантам Президента РФ № 65458.2010.5, МК 8724.2010.5.

#### ЛИТЕРАТУРА

**Буслов М.М., Сафонова И.Ю., Федосеев Г.С., Рейков М., Дэвис К., Бабин Г.А.** Пермотриасовый плюмовый магматизм Кузнецкого бассейна (Центральная Азия): геология, геохронология и геохимия // Геология и геофизика, 2010, т. 51 (9), с. 1310—1328.

**Геология СССР.** Т. 14. Западная Сибирь (Алтайский край, Кемерово, Новосибирская, Омская, Томская области). Ч. I. Геологическое описание / Ред. А.В. Сидоренко. М., Недра, 1967, 644 с.

**Добрецов Н.Л.** Пермотриасовый магматизм и осадконакопление в Евразии как отражение суперплюма // Докл. РАН, 1997, т. 354, № 2, с. 220—223.

**Добрецов Н.Л.** Крупнейшие магматические провинции Азии (250 млн лет): сибирские и эмейшаньские траппы (платобазальты) и ассоциирующие гранитоиды // Геология и геофизика, 2005, т. 46 (9), с. 870—890.

**Криволицкая Н.А., Рудакова А.В.** Строение и геохимические особенности пород трапповой формации Норильской мульды (СЗ Сибирской платформы) // Геохимия, 2009, № 7, с. 675—698.

**Крук Н.Н., Плотников А.В., Владимиров А.Г., Кутолин В.А.** Геохимия и геодинамические условия формирования траппов Кузбасса // Докл. РАН, 1999, т. 369, № 6, с. 812—815.

**Кутолин В.А.** Трапповая формация Кузбасса. Новосибирск, Новосибирское кн. изд-во, 1963, 117 с.

**Кутолин В.А.** Петрология траппов Кузбасса // Международный геологический конгресс, XXII сес., пробл. 7. Базальты плато. М., Наука, 1964, с. 103—120.

**Лавренов П.Ф., Снежко Б.А., Щигрев А.Ф., Дмитриева Н.В., Филиппова Н.Е.** Государственная геологическая карта Российской Федерации м-ба 1:200 000. Издание второе. Серия Кузбасская. Лист N-45-XVI (Осиновое Плесо). Объяснительная записка. СПб., 2001, 187 с.

**Медведев А.Я., Альмухамедов А.И., Кирда Н.П.** Геохимия пермотриасовых вулканитов Западной Сибири // Геология и геофизика, 2003, т. 44 (1—2), с. 86—100.

**Петрографический кодекс России.** СПб., ВСЕГЕИ, 2009, 199 с.

**Федосеев Г.С., Сотников В.И., Рихванов Л.П.** Геохимия и геохронология пермотриасовых базитов северо-западной части Алтае-Саянской складчатой области // Геология и геофизика, 2005, т. 46 (3), с. 289—302.

**Фор Г.** Основы изотопной геологии. М., Мир, 1989, 590 с.



**Ariskin A.A., Frenkel M.Ya., Barmina G.S., Nielsen R.L.** COMAGMAT: a Fortran program to model magma differentiation processes // *Comp. Geosci.*, 1993, v. 19, № 8, p. 1155—1170.

**Boynton W.V.** Cosmochemistry of the rare earth elements. Meteorite studies // *Rare Earth Element Geochemistry*. Amsterdam, Elsevier, 1984, p. 63—114.

**Buslov M.M., Safonova I.Yu., Fedoseev G.S., Reichow M., Travin A.V., Babin G.A.** Plume-related basalts of the Kuznetsk Basin // *Permian-Triassic, Devonian, and Early Paleozoic Igneous Provinces of the Altai-Sayan Fold System (Kolyvan-Tomsk Fold Zone, Kuznetsk and Minusinsk Troughs, Kuznetsk Alatau: Guidebook of field excursion B. International Symposium «Large igneous provinces of Asia: mantle plumes and metallogeny»*, 13—16 August, 2007. Novosibirsk, Russia. Novosibirsk, 2007, p. 19—33.

**Herzberg C., Zhang J.** Melting experiments on anhydrous peridotite KLB-1: compositions of magmas in the upper mantle and transition zone // *J. Geoph. Res.*, 1996, v. 101, № B4, p. 8271—8295.

**Hirose K., Kushiro I.** Partial melting of dry peridotites at high pressures: determination of compositions of melts segregated from peridotite using aggregates of diamond // *Earth Planet. Sci. Lett.*, 1993, v. 114, p. 477—489.

**Hofmann A., Feigenson M.D., Raczek I.** Case studies on the origin of basalt: III. Petrogenesis of the Mauna Ulu eruption, Kilauea, 1969—1971 // *Contr. Miner. Petrol.*, 1984, v. 88, p. 24—35.

**Lightfoot P.C., Naldrett A.J., Gorbachev N.S.** Geochemistry of the Siberian trap of the Noril'sk area, USSR, with implication for the relative contributions of crust and mantle to flood basalt magmatism // *Contr. Miner. Petrol.*, 1990, v. 104, p. 631—644.

**Reichow M.K., Saunders A.D., White R.V., Al'Mukhamedov A.I., Medvedev A.Ya.** Geochemistry and petrogenesis of basalts from the West Siberian Basin: an extension of the Permo-Triassic Siberian Traps, Russia // *Lithos*, 2005, v. 79, p. 425—452.

**Reichow M.K., Pringle M.S., Al'Mukhamedov A.I., Allen M.B., Andreichev V.L., Buslov M.M., Davies C.E., Fedoseev G.S., Fitton J.G., Inger S., Medvedev A.Ya., Mitchell C., Puchkov V.N., Safonova I.Yu., Scott R.A., Saunders A.D.** The timing and extent of the eruption of the Siberian Traps large igneous province: implications for the end-Permian environmental crisis // *Earth Planet. Sci. Lett.*, 2009, v. 277 (1—2), p. 9—20.

**Reichow M.K., Saunders A.D., Millar I.L., Puchkov V.N., Safonova I.Yu., Buslov M.M., Scott R.A., Medvedev A.Ya., Al'Mukhamedov A.I.** Characterising the world's most catastrophic volcanism: constraints from trace elements and radiogenic isotopes of the Siberian Traps large igneous province // *Geophys. Res., Abstracts*, 2010, v. 12, EGU2010-12475-1.

**Robinson J.A., Wood B.J.** The depth of the spinel to garnet transition at the peridotite solidus // *Earth Planet. Sci. Lett.*, 1998, v. 164, p. 277—284.

**Sun S., McDonough W.F.** Chemical and isotopic systematic of ocean basalts: implication for mantle composition and processes. Magmatism in the ocean basins / Eds. A.D. Saunders, M.J. Norry // *Geol. Soc. London, Spec. Publ.*, 1989, v. 42, p. 313—345.

**Takahashi E.** Melting of dry peridotite at high pressures and basalt magma genesis // *Amer. Miner.*, 1983, v. 68, p. 859—879.

**Watson S.** Rare earth element inversions and percolation models for Hawaii // *J. Petrol.*, 1993, v. 34, part 4, p. 763—783.

**Watson S., McKenzie D.** Melt generation by plumes: a study of Hawaiian volcanism // *J. Petrol.*, 1991, v. 32, p. 501—537.

**West H.B., Garcia M.O., Gerlach D.C., Romano J.** Geochemistry of tholeiites from Lanai, Hawaii // *Contr. Miner. Petrol.*, 1992, v. 112, p. 520—542.

*Рекомендована к печати 9 ноября 2010 г.  
Г.В. Поляковым*

*Поступила в редакцию  
29 июня 2010 г.*