

ПЕТРОЛОГИЯ, ГЕОХИМИЯ И МИНЕРАЛОГИЯ

УДК 550.42

АНДЕЗИТЫ ДОЮРСКОГО ОСНОВАНИЯ ЗАПАДНО-СИБИРСКОЙ ПЛИТЫ

А.Я. Медведев, А.И. Альмухамедов, Н.П. Кирда*

Институт геохимии СО РАН, 664033, Иркутск, ул. Фаворского, 1а, Россия

** Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, 630090, Новосибирск, просп. Коптюга, 3, Россия*

Проведенные детальные геохимические исследования андезитов предположительно пермотриасового возраста Западно-Сибирской плиты показали, что изученные породы обладают достаточно необычными характеристиками. По своим петро- и геохимическим характеристикам изученные андезиты резко отличны от аналогичных пород активных континентальных окраин и островных дуг и обладают большим сходством (по геохимическим характеристикам) с континентальными латитами. Полученные данные не противоречат модели образования андезитов путем кристаллизационной дифференциации из субщелочного базальтового расплава.

Андезиты, базальты, кристаллизационная дифференциация, Западно-Сибирская плита.

ANDESITES OF THE PRE-JURASSIC BASEMENT OF THE WEST SIBERIAN PLATE

A.Ya. Medvedev, A.I. Al'mukhamedov, and N.P. Kirda

Detailed geochemical studies of buried andesites supposedly of Permo-Triassic age of the West Siberian Plate have revealed their specific features. The andesites differ drastically in petro- and geochemical compositions from similar rocks of active continental margins and island arcs and are very similar in geochemistry to continental latites. These data do not contradict the model of andesite formation through crystallization differentiation of subalkalic basaltic melt.

Andesites, basalts, crystallization differentiation, West Siberian Plate

ВВЕДЕНИЕ

Пермотриасовый магматизм широко развит на территории Северо-Азиатского кратона. По данным многих авторов, вулканы этого возраста распространены от Северного Китая и Приморья до Баренцева и Карского морей [1, 2 и др.]. Здесь располагаются две крупнейшие провинции магматизма: Сибирская платформа, где эффузивные породы занимают самую крупную структуру (Тунгусская синеклиза), и Западно-Сибирская плита, где вулканы залегают под осадочным мезокайнозойским чехлом. По современным данным площадь их в обоих регионах распространения составляет более $2,6 \cdot 10^6$ км².

Несмотря на то что вулканизм обеих провинций является внутриплитным, наблюдаются различия в наборе пород. Вулканы Тунгусской синеклизы представлены преимущественно платобазальтовой серией, в основном базальтами различного состава с редкими находками андезибазальтов и трахиандезибазальтов.

До последнего времени считалось, что пермотриасовые вулканы Западной Сибири представлены базальтами, аналогичными базальтам покровного этапа трапповой формации Сибирской платформы [3—5]. Нашими исследованиями установлено, что вулканогенный комплекс Западно-Сибирской плиты, где широко развиты палеорифтовые структуры, представлен широким спектром эффузивных пород — от базальтов до риолитов с субщелочными и щелочными разностями (трахиандезибазальты и фонолиты) [6—9]. Таким образом, набор погребенных вулканитов Западной Сибири весьма близок таковому других внутриконтинентальных рифтов, таких как Центрально-Европейский [10] или Восточно-Африканский [11 и др.]. Одной из составляющих породного комплекса рифтогенных структур является наличие средних пород, большей частью субщелочного и щелочного рядов. Ранее эффузивы среднего состава на территории Западной Сибири не были установлены. Ниже будут представлены первые результаты исследования андезитов Западной Сибири.

ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ АНДЕЗИТОВ

При изучении погребенных вулканитов Западной Сибири нами было обнаружено три образца андезитов в керне скв. Северо-Поточная-111 (интервал 3194—3204 м). Скважина расположена в средней части Аганского грабен-рифта, проекция которого на современную поверхность располагается в среднем течении Оби. Андезиты залегают под юрскими осадочными отложениями, и их взаимоотношение с базальтами не установлено, поскольку скважина не вышла из толщи андезитов. Предположение, что это вулканиты пермотриасового возраста, вызвано тем, что ранее описанные андезиты относятся к низам карбона и резко отличаются по своим геохимическим характеристикам [12]. Образцы андезитов представлены массивными породами от темно-серого до черного цвета. Структура их меняется от афировой до порфировой. Максимальное количество вкрапленников не превышает 15 %. Следует отметить, что степень порфировости уменьшается с глубиной залегания, видимо, вскрыт отдельный покров. Порфировые вкрапленники представлены андезином (An_{39-45}). Основная масса микролитовая, она состоит из плагиоклаза, калиевым полевым шпатом, пироксеном диопсид-авгитового ряда, кварцем. Рудные минералы представлены магнетитом и титаномагнетитом. Особенностью исследованных пород является достаточно высокое содержание рудных минералов — до 7—10 мас.%. Возможно, что частично магнетит является вторичным. Степень изменения пород средняя и заключается в пелитизации полевых шпатов, хлоритизации пироксена и карбонатизации основной массы. Карбонаты представлены кальцитом и брейнеритом (рентгеноструктурные данные).

Данные химического и редкоэлементного состава пород приведены в табл. 1. Андезиты Западной Сибири обладают достаточно специфическим составом. По своим петрохимическим характеристикам, они принадлежат к породам нормального ряда (см. рис. 1) и относятся к калиево-натриевой серии (Na_2O/K_2O изменяется от 0,4 до 1,2), а по коэффициенту глиноземистости — от умеренно- до высокоглиноземистых ($al' = 0,99—1,5$).

Нами проведено сравнение исследуемых андезитов с породами аналогичной кремнекислотности различных геодинамических обстановок. Данные приведены в табл. 2. При сопоставимых содержаниях SiO_2 андезиты Западной Сибири отличаются от островодужных андезитов как толеитовой, так и известково-щелочной серий высоким содержанием железа, титана, калия и фосфора и относительно низким — алюминия и натрия. Еще более значимые различия наблюдаются при рассмотрении геохимических особенностей. Отмечено обогащение андезитов Западной Сибири всеми некогерентными элементами, такими как Rb, Sr, Zr, Y, Nb, всеми РЗЭ и особенно барием, при сопоставимых количествах элементов группы железа (Cr, Ni). Также отмечено различие в составах андезитов континентальных активных окраин и западно-сибирских. Последние существенно более железистые и содержат больше K, Zr, Ba, но меньше Sr и элементов группы железа. По сравнению со средними породами Восточно-Африканского рифта исследованные породы менее щелочные ($Na_2O + K_2O$ — 5,787 против 11,31), содержат меньше Rb, Nb, легких редких земель, но существенно больше Ba и Sr. Наибольшее сходство западно-сибирские андезиты имеют с континентальными кварцевыми латитами. Однако они обеднены Cr, Ni, La и Ce, но обогащены средними и тяжелыми РЗЭ, как это показано в табл. 2.

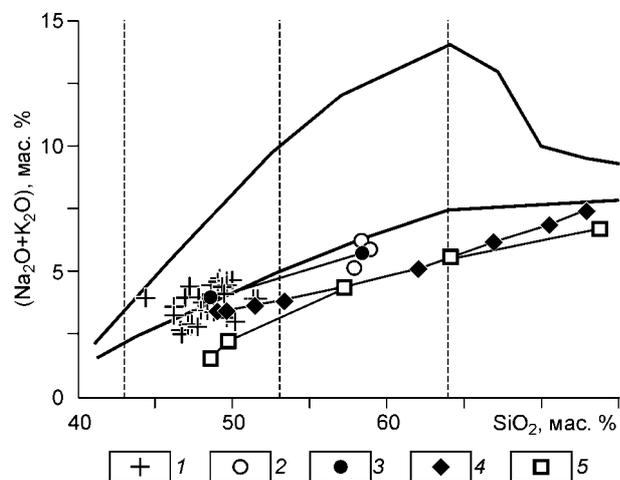


Рис. 1. Положение точек составов исследуемых и сравниваемых пород на классификационной диаграмме $SiO_2—(Na_2O + K_2O)$.

1 — базальты Западной Сибири; 2 — андезиты Западной Сибири; 3 — предполагаемый тренд дифференциации среднего базальта—среднего андезита; 4 — тренд дифференциации базальтового расплава, полученный экспериментально [21]; 5 — тренд дифференциации пород риолит-базальтовой серии Исландии [22].

Таблица 1.

Состав андезитов Западной Сибири

Компонент	Обр. 97-86	Обр. 97-85	Обр. 97-84
	3194 м	3199 м	3204 м
SiO ₂ , мас. %	58,85	58,33	57,85
TiO ₂	1,752	1,833	1,829
Al ₂ O ₃	12,831	13,748	12,447
Fe ₂ O ₃	1,69	1,94	1,80
FeO	9,17	5,93	10,09
MnO	0,193	0,211	0,183
MgO	1,31	1,24	1,72
CaO	4,82	6,76	5,24
Na ₂ O	2,792	3,372	1,537
K ₂ O	3,12	2,88	3,67
P ₂ O ₅	0,562	0,595	0,585
П.п.п.	3,02	3,25	2,16
Сумма	100,11	100,09	99,11
Li, г/г	15	30	38
Be	4,0	3,7	3,9
B	14	10	8,5
F	800	530	1000
Sc	51	34	44
V	120	150	170
Cr	10,1	9,9	10
Co	12	7,8	10
Ni	7,4	3,4	5,7
Cu	18	16	24
Zn	190	130	210
Rb	92	78	96
Sr	330	360	240
Y	55,9	55,0	57,9
Zr	286	296	274
Nb	20	18	19
Ag	0,09	0,07	0,08
Sn	4,2	3,8	4,9
Ba	1135	1410	1470
La	40	40	43
Ce	70	77	69
Nd	41	42	43
Sm	10,5	11,0	7,6
Eu	2,6	2,4	3,2
Gd	13,0	13,0	9,0
Dy	9,4	9,6	10,0
Ho	1,8	1,7	1,5
Er	6,0	6,0	5,3
Yb	6,2	6,4	6,0
Lu	0,84	0,90	0,95
Pb	21	17	20
⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr ₀	0,70590	—	0,70880

Примечание. Оригинальные авторские исследования образцов выполнены рентгенофлуоресцентным (петрогенные элементы), химическим (FeO), фотометрии пламени (Li, Rb), масс-спектрометрическим с индуктивно связанной плазмой (редкие земли) и атомно-эмиссионным (остальные элементы) методами. Аналитики С.С. Воробьева, В.И. Ложкин, Г.П. Сандиминова, Е.В. Смирнова, А.Л. Финкельштейн, С.И. Шигарова, С.К. Ярошенко. Определение ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr производилось на установке МИ-1201Т. Аналитики Л.С. Лелюкина, Г.П. Сандиминова.

Таблица 2. Состав и геохимические особенности средних пород различных геодинамических обстановок

Компонент	1	2	3	4	5	6
SiO ₂ , мас. %	58,34	58,96	57,40	57,30	59,35	57,29
TiO ₂	1,804	1,00	1,25	1,10	0,84	0,89
Al ₂ O ₃	13,009	13,80	15,60	15,79	16,68	17,67
Fe ₂ O ₃	1,81	FeO* 7,95	FeO* 8,15	4,00	4,25	FeO* 6,05
FeO	8,40	—	—	4,74	1,80	—
MnO	0,20	—	—	0,17	0,09	—
MgO	1,42	0,62	3,38	2,83	2,49	4,10
CaO	5,61	2,09	6,14	6,83	4,87	6,56
Na ₂ O	2,567	6,09	4,20	4,23	3,96	3,80
K ₂ O	3,22	5,22	0,43	1,26	3,78	1,41
P ₂ O ₅	0,581	0,12	—	0,20	0,41	—
П.п.п.	2,81	—	—	0,97	1,91	—
Сумма	99,77	—	—	99,50	100,43	—
V, г/т	145	22	175	—	78	120
Cr	10	20	15	—	117	78
Co	10	17	—	—	15	20
Ni	5,5	18	20	—	57	46
Rb	89	166	6,0	28,7	116	47
Sr	310	39	220	282	610	980
Y	56	34	—	35,3	17	18
Zr	285	822	70	169	362	135
Nb	19	222	—	4,6	10,6	16
Ba	1340	245	100	444	1290	475
La	41	80	2,4	12,90	70	—
Ce	72	150	—	30,49	111	—
Pr	—	—	—	4,73	8,6	—
Nd	42	62	—	20,96	45,6	—
Sm	9,7	—	—	5,51	12,4	—
Eu	2,4	2,2	—	1,48	1,8	—
Gd	12,0	—	—	6,17	9,6	—
Tb	—	—	—	1,01	—	—
Dy	9,7	—	—	6,26	6,8	—
Ho	1,7	—	—	1,30	1,3	—
Er	5,8	—	—	3,80	2,9	—
Tm	—	—	—	0,60	—	—
Yb	6,2	2,8	2,4	3,98	2,9	—
Lu	0,90	—	—	0,59	0,38	—
Pb	19	—	—	5,75	24	—

Примечание. 1 — андезиты Западной Сибири (авторские данные); 2 — средний вулканит Восточно-Африканского рифта [13]; 3, 4 — островодужные андезиты: 3 — толеитовой [14], 4 — известково-щелочной [15] серий; 5 — континентальный латит [16]; 6 — андезит Андийской активной окраины [14]. FeO* — общее железо.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Андезитовый вулканизм приурочен преимущественно к островным дугам или активным континентальным окраинам. Нами проведено изучение впервые найденных на территории Западной Сибири андезитов, которые приурочены к палеорифтовым зонам. Уже это является достаточно необычным. Как было показано выше, исследованные породы обладают рядом особенностей, отличающих их от аналогичных по кремнекислотности. Прежде всего, в большинстве случаев это выражается в превалировании калия над натрием. Также исследованные андезиты обладают специфическими геохимическими особенностями.

Андезитовые серии изверженных горных пород занимают второе место после толеитовых базальтов в магматических образованиях Земли. Одной из проблем, связанных с андезитовым вулканизмом, является образование андезитовых расплавов.

К настоящему времени существует три группы гипотез о происхождении андезитов. В первую входят гипотезы, объясняющие происхождение андезитов ассимиляцией базальтовой магмы корового материала [17]. Отметим, что эти гипотезы не согласуются с петролого-геохимическими особенностями андезитовых пород, так как содержания многих элементов иные, чем это следует из гибридно-ассимиляционной модели. Многие исследователи, например [18], считают, что андезиты, образовавшиеся путем контаминации и ассимиляции, являются низкоглиноземистыми. Тогда как для андезитов базальт-андезитовой серии характерна высокая глиноземистость, что мы и имеем в настоящем случае.

Вторая группа гипотез предполагает самостоятельное происхождение андезитовой магмы в результате селективного плавления ультраосновной мантии или вторичного переплавления базальтов при погружении на большие глубины сформировавшихся в близповерхностных условиях базальтоидов. Например, погружение океанической коры в зонах Беньоффа приводит к преобразованию их в кварцевые эклогиты. Фракционное плавление этих эклогитов может приводить к образованию андезитовых магм [19].

Наконец, третья группа гипотез полагает происхождение андезитовых магм при кристаллизационной дифференциации базальтов [20]. В данном случае предполагается повышенная летучесть кислорода.

Была рассмотрена возможность образования андезитов Западной Сибири путем кристаллизационной дифференциации из базальтов. Ранее нами показана возможность образования расплавов среднего и кислого составов путем кристаллизационной дифференциации базальтового расплава при высокой фугитивности кислорода [21]. Аналогичная картина наблюдается и в природных процессах, как это показано (см. рис. 1) на примере базальт-риолитовой серии Исландии [22]. На данном рисунке хорошо видно, что предполагаемый тренд дифференциации базальт—андезит (для пород Западной Сибири) параллелен трендам дифференциации как по экспериментальным, так и природным данным. Разница заключается в более высоком его положении (большая общая щелочность). Это можно объяснить тем, что родоначальный базальт более щелочной, чем базальт Исландии и толеитовый базальт, используемый в экспериментах. На возможность данного процесса указывают и геохимические данные (рис. 2 и 3). Обращают на себя внимание практически параллельные тренды распределения как редкоземельных (см. рис. 2), так и редких элементов (см. рис. 3) в базальтах и андезитах. Наблюдаются только небольшие отклонения Cr, Ni, Rb, Sr и Eu. Эти особенности будут рассмотрены ниже.

Для подтверждения возможности образования андезита из базальта путем фракционной кристаллизации был проведен расчет (табл. 3) методом баланса масс по программе CRYSTAL [23]. В качестве модельного образца был взят реальный западно-сибирский базальт (обр. 97-13, скв. Пермьяковская-66, глубина отбора 2866,3 м). Составы главных минералов (оливин, пироксен и плагиоклаз) взятого за эталон образца определены микронзондовым анализом. Составы магнетита и апатита взяты из справочников. Расчеты показали, что для образования андезита из базальта необходимо удалить из расплава 76,67 %

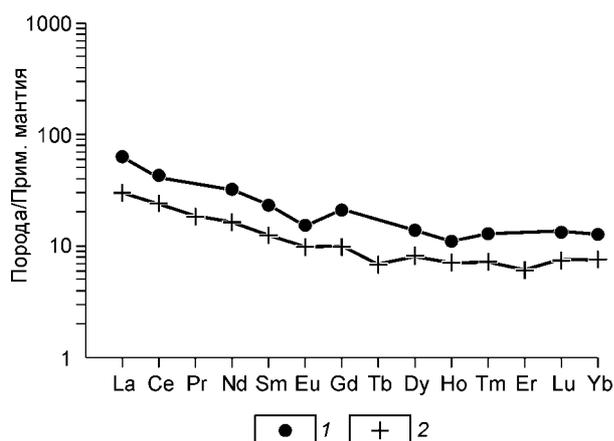


Рис. 2. Распределение редкоземельных элементов в базальтах и андезитах Западной Сибири (средние величины), нормированных по примитивной мантии [24].

1 — андезит; 2 — базальт.

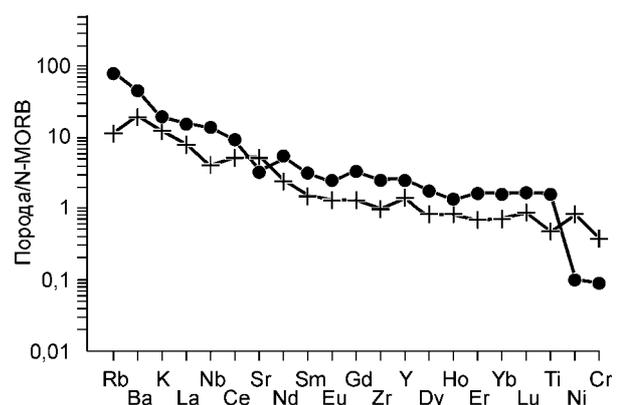


Рис. 3. Спайдер-диаграмма для наиболее характерных редких элементов базальтов и андезитов Западной Сибири, нормированных по N-MORB [25].

Усл. обозн. см. на рис. 2.

Таблица 3.

**Результаты модельных расчетов образования андезита
при кристаллизационной дифференциации базальта (мас. %)**

Компонент	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SiO ₂	47,75	38,188	50,679	58,34	0	0	58,281	58,34	0,059
TiO ₂	1,322	0,023	0,791	1,804	0	0	1,75	1,804	0,054
Al ₂ O ₃	16,94	0,025	1,95	28,847	0	0	13,161	13,009	-0,152
FeO	9,98	21,149	10,906	0,756	93,09	0	10,03	10,03	0,000
MnO	0,148	0,452	0,292	0,013	0	0	0,373	0,20	-0,173
MgO	3,963	32,851	14,705	0,138	0	0	1,486	1,42	-0,066
CaO	8,749	0,326	20,257	11,692	0	55,5	5,703	5,61	-0,93
Na ₂ O	2,866	0	0,324	4,934	0	0	2,121	2,567	0,446
K ₂ O	1,111	0	0,014	0,426	0	0	3,889	3,22	-0,669
P ₂ O ₅	0,467	0	0	0	0	42,3	0,46	0,581	0,121

Примечание. 1 — базальт, обр. 97-13; 2 — оливин, 3 — пироксен, 4 — плагиоклаз, 5 — магнетит, 6 — апатит, 7 — состав рассчитанного андезита, 8 — состав среднего андезита Западной Сибири, 9 — невязка. Анализы минералов проведены М.Ю. Цыпуковым на приборе Camebax-Micro в Институте минералогии технического университета (г. Клаусталь, ФРГ).

кристаллов. Из них 11,458 % оливина, 9,79 % пироксена, 69,794 % плагиоклаза, 7,771 % магнетита и 1,246 % апатита, что составляет 100 %.

Полученные расчетные данные позволяют объяснить поведение вышеуказанных элементов. Действительно, кристаллизация оливина и пироксена приводит к обеднению остаточного расплава хромом и никелем, что и наблюдается в андезитах. Фракционирование плагиоклаза повышает калиевость и, соответственно, увеличивает содержание рубидия, при этом параллельно наблюдается уменьшение количества стронция и европия, как это отражено на рис. 2 и 3. Достаточно необычным является очень высокое содержание бария в исследованных андезитах. Однако, как было показано ранее [8], это объясняется региональными особенностями вулканической толщи Западно-Сибирской плиты.

Данные по изотопии стронция (см. табл. 1) позволяют предполагать некоторую возможность ассимиляции андезитовым расплавом корового материала как осадочных пород, так и кислых вулканитов. Но в силу недостаточности аналитических данных, масштабность этого процесса трудно оценить.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

Проведены детальные геохимические исследования погребенных андезитов Западно-Сибирской плиты. Изученные породы обладают достаточно необычными характеристиками.

По своим петро- и геохимическим характеристикам изученные андезиты резко отличны от аналогичных пород активных континентальных окраин и островных дуг и обладают большим сходством (по геохимическим характеристикам) с континентальными латитами.

Полученные данные не противоречат модели образования андезитов путем кристаллизационной дифференциации из субщелочного базальтового расплава.

Авторы выражают свою искреннюю благодарность всем аналитикам Института геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, С.И. Дрилю за помощь в приведении измеренных отношений ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr к первичным и А.Б. Перепелову за помощь в проведении расчетов.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 03-05-65206), интеграционного проекта РАН № 6.5.3 „Северо-Азиатский суперплюм: изотопная геохимия внутриплитных магматитов и моделирование процессов тепло- и массообмена при зарождении, развитии и магматической деятельности плюмов при формировании сибирских траппов“ и интеграционного проекта СО РАН № 106 „Динамика восходящих мантийных потоков под континентами (геодинамические сценарии и математические модели)“.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Дмитриев Ю.И., Богатиков О.А.** Траппы Эмейшань (платформа Янцзы) как индикаторы геодинамической обстановки прерванного океанообразования // *Петрология*, 1996, т. 4, № 4, с. 436—448.
2. **Добрецов Н.Л.** Пермотриасовый магматизм в Евразии как отражение суперплюма // *Докл. РАН*, 1997, т. 354, № 2, с. 220—223.
3. **Журавлев Е.Г.** Трапповая формация Западно-Сибирской плиты // *Изв. АН СССР, Сер. геол.*, 1986, № 7, с. 26—32.
4. **Нестеров И.И., Бочкарев В.С., Пуртова С.И.** Уникальный разрез триаса Западной Сибири // *Докл. РАН*, 1995, т. 340, № 5, с. 659—663.

5. **Бибенина Т.С.** Петрохимический состав пермотриасовых базальтов в скв. СГ-6 // Научное бурение в России, 1996, Вып. 12, с. 155—159.
6. **Альмухамедов А.И., Медведев А.Я., Кирда Н.П., Батурина Т.П.** Триасовый вулканогенный комплекс Западной Сибири // Докл. РАН, 1998, т. 362, № 3, с. 372—377.
7. **Альмухамедов А.И., Медведев А.Я., Ехлаков Ю.А. и др.** Трахиандезитобазальты в составе доюрского фундамента Западно-Сибирской плиты // Докл. РАН, 2000, т. 371, № 5, с. 648—651.
8. **Медведев А.Я., Альмухамедов А.И., Кирда Н.П.** Первая находка высококалийных базальтоидов в вулканогенно-осадочной толще доюрских комплексов Западной Сибири // Геохимия, 2002, № 1, с. 100—104.
9. **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.
10. **Wimmenauer W.** The alkaline province of Central Europe and France: the alkaline rocks. N.Y., Wiley, 1974, 270 p.
11. **Восточно-Африканская** рифтовая система, Т. 3. М., Наука, 1974, 288 с.
12. **Нефтегазоносные** бассейны и регионы Сибири, Вып. 2. Западно-Сибирский бассейн / А.Э. Конторович, В.В. Сурков, А.А. Трофимук и др. Новосибирск, ОИГГМ СО РАН, 1994, 201 с.
13. **Логачев Н.А.** Вулканогенные и осадочные породы рифтовых зон Восточной Африки. М., Наука, 1977, 300 с.
14. **Кузьмин М.И.** Геохимия магматических пород фанерозойских подвижных поясов. Новосибирск, Наука, 1985, 201 с.
15. **Гриб Н., Перепелов А.Б., Леонов В.Л.** Геохимия вулканических пород Узон-Гейзерной депрессии (Камчатка) // Вулканология и сейсмология, 2004, № 4, с. 11—28.
16. **Таусон Л.В., Антипин В.С., Захаров М.Н., Зубков В.С.** Геохимия мезозойских латитов Забайкалья. Новосибирск, Наука, 1984, 216 с.
17. **Тернер Ф., Ферхуген Дж.** Петрология изверженных и метаморфических пород. М., Мир, 1961, 244 с.
18. **Бородин Л.С.** Геохимия главных типов изверженных пород. М., Недра, 1981, 194 с.
19. **Соболев В.С.** Современные теории происхождения и эволюции магм // Тектонофизика Земли. М., Наука, 1978, с. 433—446.
20. **Osborn F.F.** The complementarity of orogenic andesite and alpine peridotite // Geochim. Cosmochim. Acta, 1969, v. 33, p. 307—325.
21. **Альмухамедов А.И., Медведев А.Я.** Экспериментальное исследование кристаллизации толеитового базальта при высоких p_{O_2} : модель формирования кислых остаточных расплавов в процессах эволюции основных магм // Геология и геофизика, 1995, т. 36 (5), с. 55—63.
22. **Поляков А.И., Муравьева Н.С.** Дифференцированные риолит-базальтовые серии Исландии и происхождение кислых эффузивов: модель фракционной дифференциации // Геохимия, 1981, № 9, с. 1362—1379.
23. **Перетяжко И.С.** CRYSTAL — прикладное программное обеспечение для минералогов, петрографов, геохимиков // Зап. ВМО, 1996, № 3, с. 129—137.
24. **Рябчиков И.Д.** Состав верхней мантии Земли // Геохимия, 1997, № 5, с. 467—478.
25. **Альмухамедов А.И., Богданов Ю.А., Кузьмин М.И. и др.** Рифтовая зона хребта Рейкьянес: тектоника, магматизм, условия осадконакопления. М., Наука, 1990, 240 с.

Рекомендована к печати 28 декабря 2005 г.
Ю.Р. Васильевым

Поступила в редакцию 22 апреля 2005 г.,
после доработки — 5 октября 2005 г.