

ПЕТРОГЕОХИМИЧЕСКИЕ И ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ БАЗАЛЬТОВ БИЧУРСКОЙ СВИТЫ

Бичурская свита установлена в Зауральской зоне вдоль разлома, ограничивающего с востока Челябинский грабен. Сложена почти нацело базальтами. В подчиненном количестве (< 5%) отмечены туфы основного состава, пестроцветные терригенные породы, туфопесчаники. В основании разреза залегают красноцветные конгломераты, образующие базальный горизонт, несогласно залегающий на более древних отложениях; в его верхах развиты преимущественно аргиллиты, алевролиты, песчаники. Мощность отложений свиты порядка 1100 м. Возраст свиты на основе находок в песчаниках филопод надежно датирован ранним — средним триасом [Кузнецов и др. 1998 г.].

Триасовая магматическая формация бичурской свиты характеризуется как контрастная базальтриолитовая серия с резким преобладанием пород основного (базальтового) состава над кислыми.

Наличие триасовых вулканогенных образований на Урале вполне закономерно. Во-первых, для триасового вулканизма характерен трещинный тип излияния, приуроченность к зонам глубинных разломов, в пределах которых их распространение ограничено тектоническими депрессиями (грабенами). Во-вторых, схожие проявления вулканизма известны в пределах и других эпигерцинских структур (Аппалачи и др.). В-третьих — это большая площадь распространения триасовых вулканитов на Урале (от Пайхоя до Мугоджар) [Иванов, 1974].

Базальты бичурской свиты имеют кайнотипный облик, их структуры — порфиоровые, субофитовые и витрофировые; текстуры — миндалекаменные, флюидальные. Миндалины выполнены цеолитами, карбонатом, халцедоном [Кузнецов и др., 1998 г.]. Среди порфировых выделений наибольшим развитием пользуется плагиоклаз, меньшим — пироксен, в основной массе присутствуют эпидот, карбонат, биотит. Рудные минералы представлены магнетитом и гематитом, что обусловило сильную магнитность базальтов. Степень измененности пород довольно слабая — от эпигенетических преобразований до цеолитовой фации регионального метаморфизма.

Ранее были охарактеризованы базальты Челябинского грабена [Ардисламов, 2006]. Данная статья описывает базальты из скважин № 5, 6 и 7 (табл. 1), расположенных в районе Назарово-Карасевской группы грабенов (рис. 1), а также их сопоставление с образцами вулканогенных образований, отобранных в Ильинско-Борисовской впадине восточного склона Среднего Урала.

Основной классификационной диаграммой, используемой для разделения базальтов на породы

нормальной, субщелочной и щелочной серий, является диаграмма $\text{SiO}_2 - (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ (рис. 2). Все базальты бичурской свиты и вулканиты Ильинско-Борисовской впадины представлены нормальными и субщелочными разновидностями, большинство проб ложится почти на границу раздела указанных полей.

По критерию Мияширо (рис. 3) базальты нормальной щелочности в свою очередь делятся на толеитовые и известково-щелочные. Большая часть рассматриваемых базальтов бичурской свиты укладываются в поле известково-щелочных, остальные в поле толеитов. Вулканогенные образования Ильинско-Борисовской впадины по критерию Мияширо представлены толеитами. Базальты субщелочной серии по критерию Мияширо почти все укладываются в поле толеитов, остальные ложатся на границу разделов. На диаграмме $\text{SiO}_2 - (\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 / \text{MgO})$ (рис. 3 А) отдельно рассмотрены базальты субщелочной серии, что связано с повышенным содержанием в них K_2O (1–2%), которое на порядок выше, чем в типичных толеитах осевой части Красного моря (0,04%). Базальты бичурской свиты по содержанию щелочей сходны с оливиновыми толеитами Байкальского рифта, где K_2O составляет 1–1,5%.

Составы триасовых базальтов бичурской свиты и вулканогенных образований Ильинско-Борисовской впадины восточного склона Среднего Урала на диаграммах $\text{TiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{MgO} + \text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3)$, $\text{TiO}_2 - (\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})$ и $\text{Al}_2\text{O}_3 - (\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3)$ (рис. 4, 5, 6) образуют довольно компактную область. При нанесении на них полей базальтов стандартных («эталонных») геодинамических обстановок, контуры которых отрисовывались на основе большого банка (порядка 1000) опубликованных химических анализов, а также точек средних их составов [Кузьмин, 1985; Петрология..., 1987; Фролова, Бурикова, 1997], хорошо видно, что вулканиты бичурской свиты и Ильинско-Борисовской впадины попадают в область траппов древних платформ либо континентальных рифтов. Преобладающая часть анализов рассматриваемых базальтов расположена вокруг средних составов траппов.

Обратимся к рассмотрению редкоземельных элементов. В изученных базальтах наблюдаются довольно узкие вариации содержаний редкоземельных элементов (РЗЭ) и спектров их распределения.

Анализ содержаний элементов и диаграммы их нормализации по хондриту демонстрируют следующие особенности состава РЗЭ. Во-первых, высокий уровень концентрации РЗЭ, в среднем в десятки раз

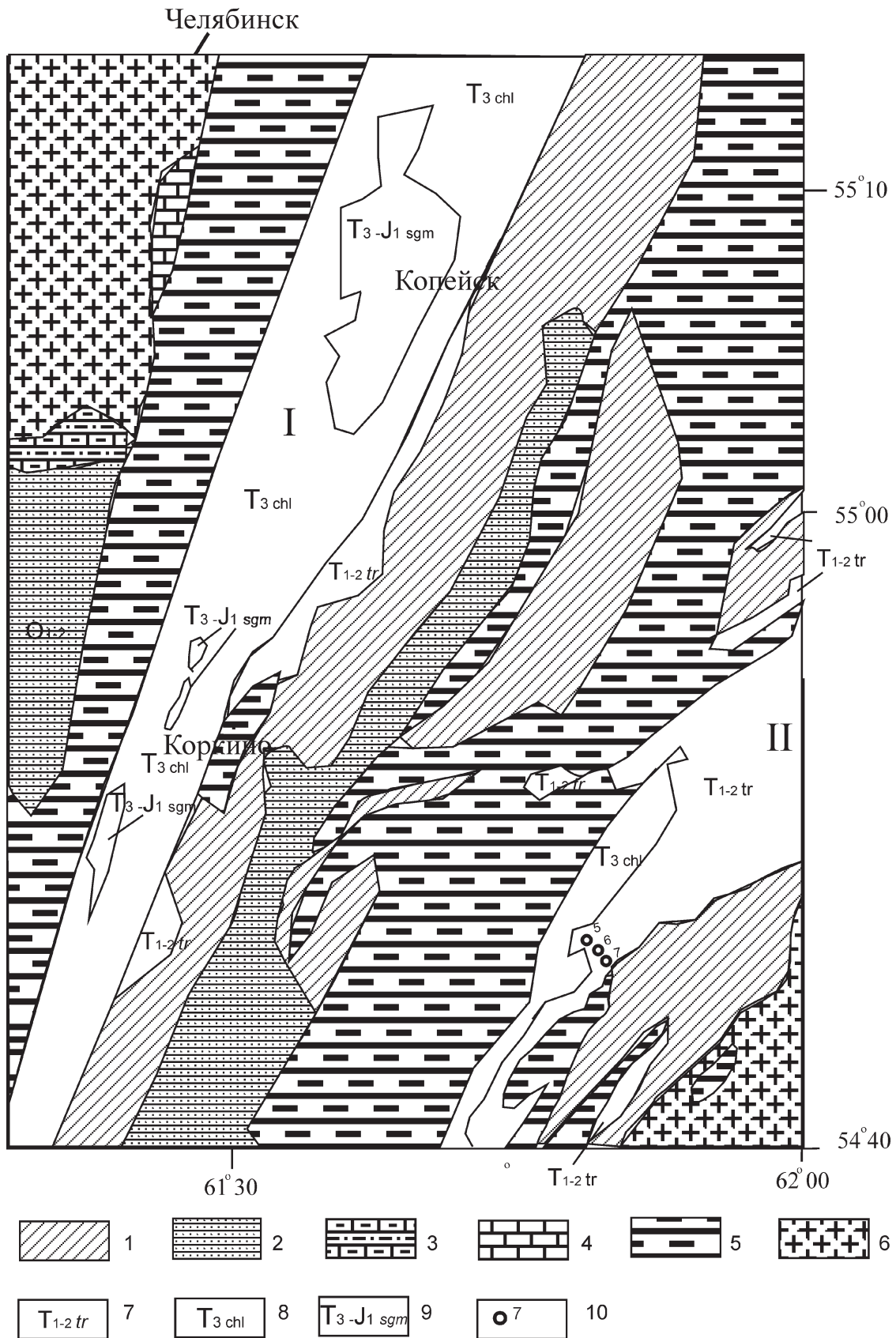


Рис. 1. Геологическая карта юго-восточной части Челябинской области (составлена и упрощена В.Н. Пучковым по Геологической карте Н.С. Кузнецова и др. [1998 г.]

Условные обозначения: 1 — докембрий; 2 — ордовик; 3 — силур; 4 — девон; 5 — ранний — средний карбон; 6 — гранитоиды Челябинского и Санарского массивов; 7 — ранний — средний триас (туринская серия); 8 — поздний триас (челябинская серия); 9 — поздний триас — ранняя юра (сугоякская свита); 10 — скважины; I — Челябинский грабен; II — Назарово-Карасевская группа грабенов

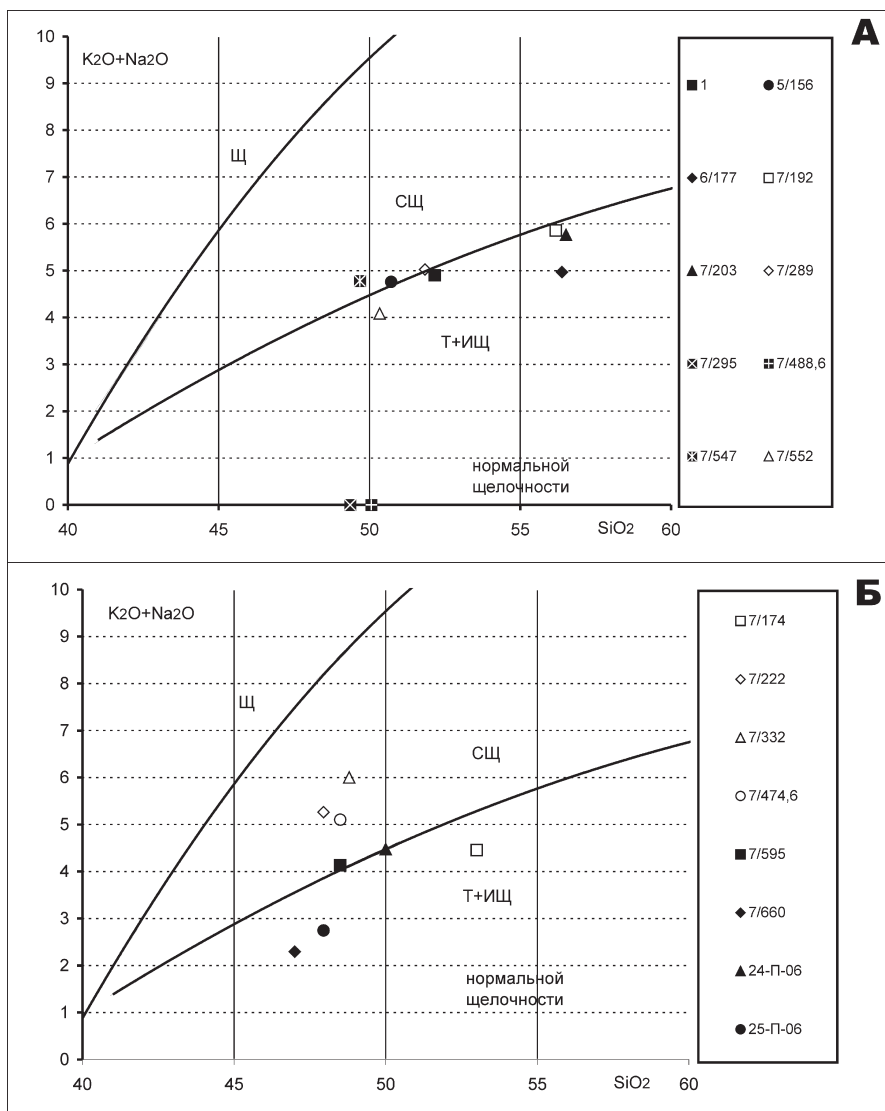


Рис. 2 Диаграмма $\text{SiO}_2 - (\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})$ для триасовых базальтов Челябинского грабена (Южный Урал) и вулканитов Ильинско-Борисовской впадины (Средний Урал)

Условные обозначения. А: 1 — среднее значение по [Ардисламов, 2006], Б: 24-П-06, 25-П-06 — вулканиты Ильинско-Борисовской впадины Средний Урал; 5/156, 6/177, 7/192, 7/203, 7/289, 7/295, 7/488,6, 7/547, 7/552 — предоставлены ОАО «Челябинскгеосъемка»

Таблица 1

Химический состав триасовых базальтов бичурской свиты из скважин № 5, 6, 7 и Ильинско-Борисовской впадины восточного склона Среднего Урала

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9
№ пробы	7/174	7/222	7/332	7/474,6	7/595	7/660	24-П-06	25-П-06	5/156
SiO_2	53,00	47,95	48,80	48,50	48,50	47,00	50,00	47,95	50,72
TiO_2	1,54	1,54	1,73	2,10	2,10	1,75	2,24	2,50	2,48
Al_2O_3	14,50	15,70	15,60	15,70	15,70	14,00	14,10	14,00	14,57
Fe_2O_3	9,30	10,80	11,20	11,80	12,80	12,60	13,60	13,60	10,49
MnO	0,22	0,21	0,33	0,26	0,26	0,21	0,23	0,36	0,17
MgO	4,80	6,00	4,80	6,20	6,40	4,80	6,00	6,80	4,03
CaO	7,10	7,12	7,60	6,52	8,56	7,10	8,84	9,07	8,89
Na_2O	3,20	4,00	4,00	2,95	3,60	1,00	3,25	1,70	3,27
K_2O	1,05	1,00	1,80	2,00	0,50	1,07	1,25	1,00	1,34
P_2O_5	0,61	0,65	0,75	0,95	0,83	0,71	1,05	1,31	0,87
ппп	4,12	4,28	2,84	3,42	1,92	10,20	0,20	1,00	2,88
Сумма	99,05	99,25	99,45	100,35	100,32	100,57	100,86	99,29	99,71

№ п/п	10	11	12	13	14	15	16	17
№ пробы	6/177	7/192	7/203	7/289	7/295	7/488,6	7/547	7/552
SiO ₂	56,38	56,18	56,52	51,84	49,36	50,06	49,68	50,34
TiO ₂	1,36	1,34	1,36	1,68	1,70	2,20	2,04	1,98
Al ₂ O ₃	16,27	15,30	15,28	15,82	15,56	15,12	14,98	15,13
Fe ₂ O ₃	7,9	8,48	8,34	10,33	12,38	13,09	12,74	12,01
MnO	0,04	0,08	0,20	0,19			0,03	0,17
MgO	4,03	4,43	4,33	5,12			4,53	5,12
CaO	5,93	6,35	6,21	7,48			6,92	8,05
Na ₂ O	3,32	3,27	3,27	3,32			2,40	2,74
K ₂ O	1,52	2,50	2,41	1,61			2,21	1,25
P ₂ O ₅	0,64	0,60	0,60	0,73	1,44	1,35	0,92	0,92
ппп	2,58	1,64	1,08	1,80			3,18	1,12
Сумма	99,97	100,17	99,60	99,92			99,63	98,82

Примечание: пробы 1–6, 9–17 — базальты бичурской свиты; пробы 1–6 отобраны из керна скважины № 7; пробы 9–17 предоставлены ОАО «Челябинскгеосъемка»; пробы 7 и 8 — вулканиты Ильинско-Борисовской впадины. Значения Fe₂O₃ — сумма Fe₂O₃ и FeO.

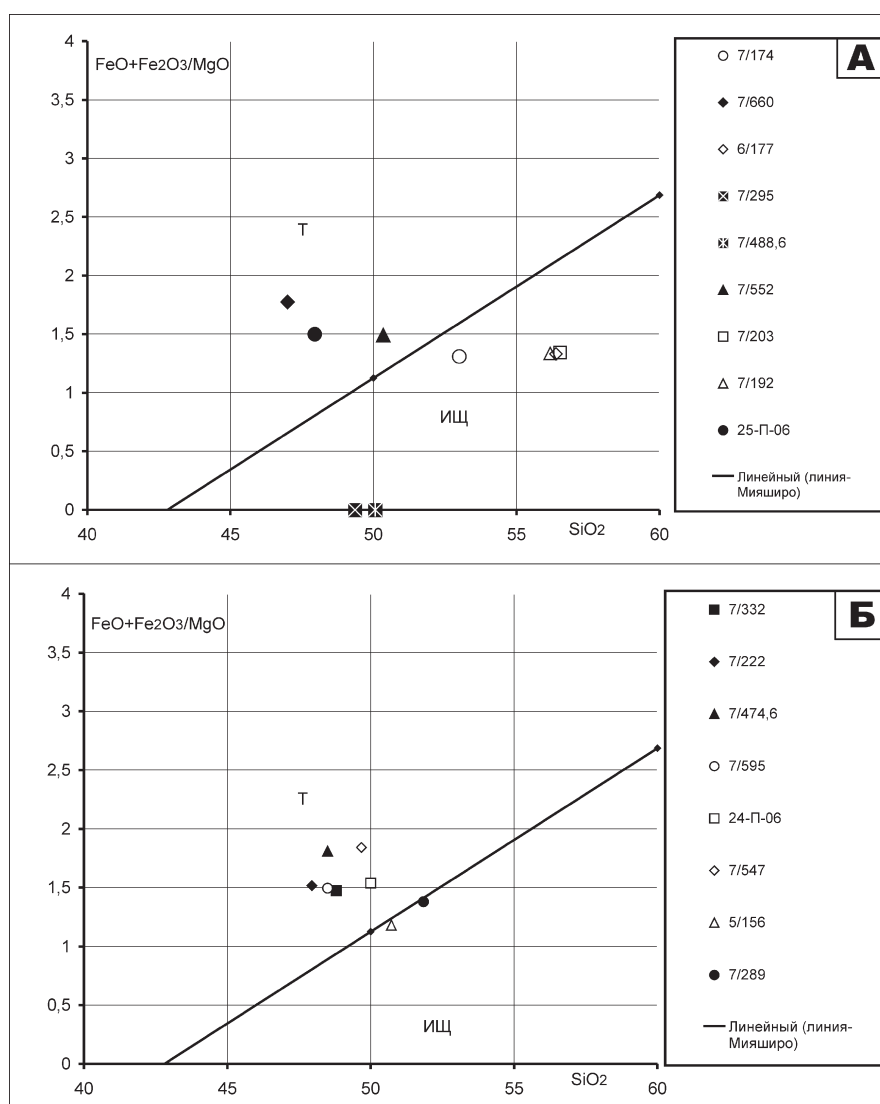


Рис. 3 Диаграмма SiO₂ – (FeO+Fe₂O₃)/MgO для триасовых базальтов бичурской свиты и вулканитов Ильинско-Борисовской впадины (Средний Урал)

Условные обозначения: А — базальты нормальной щелочной серии; Б — базальты субщелочной серии; 24-П-06, 25-П-06 — вулканиты Ильинско-Борисовской впадины Средний Урал; 5/156, 6/177, 7/192, 7/203, 7/289, 7/295, 7/488,6, 7/547, 7/552 — предоставлены ОАО «Челябинскгеосъемка»

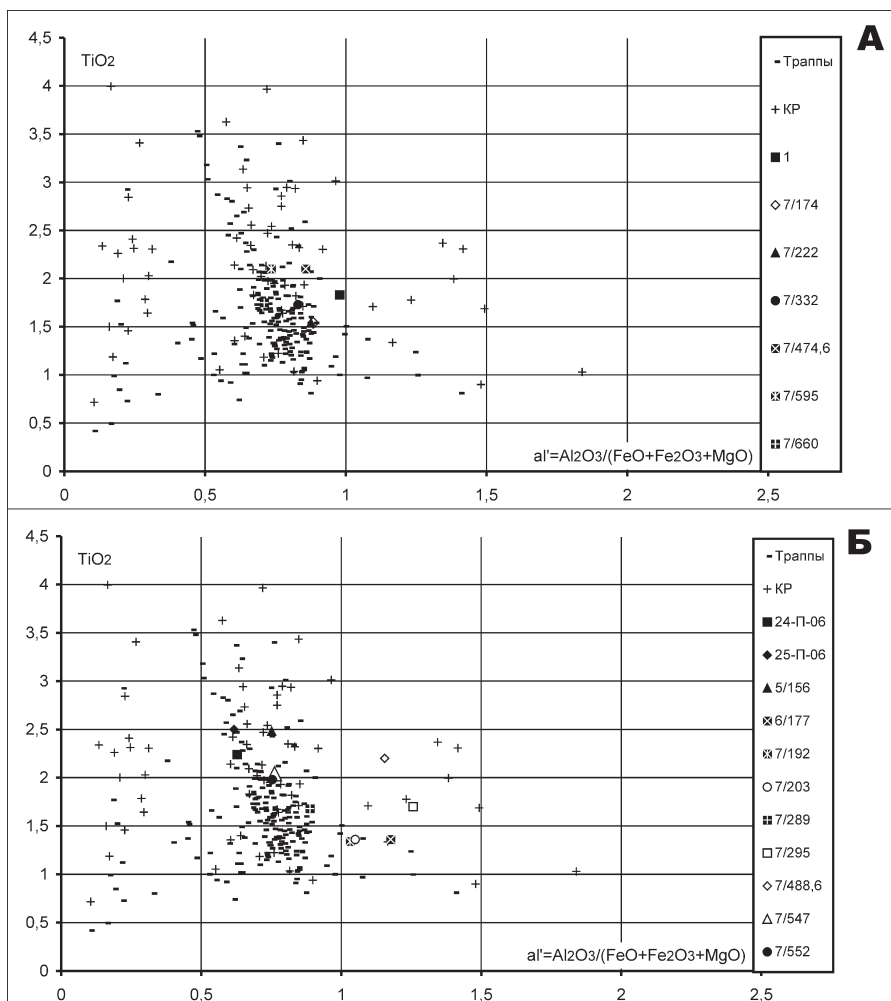


Рис. 4. Диаграмма $Al_2O_3/(MgO+FeO+Fe_2O_3) - TiO_2$ для триасовых базальтов бичурской свиты (А) и вулканитов Ильинско-Борисовской впадины (Средний Урал) (Б)

Условные обозначения: КР — континентальные рифты; Траппы — траппы [Кузьмин, 1985; Петрология ..., 1987; Фролова, Бурикова, 1997]; 24-П-06, 25-П-06 — вулканиты Ильинско-Борисовской впадины Средний Урал; 5/156, 6/177, 7/192, 7/203, 7/289, 7/295, 7/488,6, 7/547, 7/552 — предоставлены ОАО «Челябинскгеосъемка»

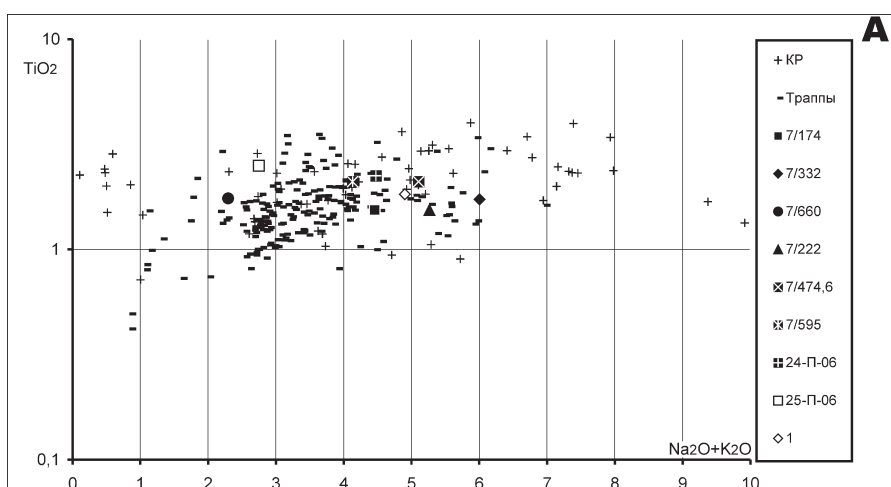


Рис. 5 А. Диаграмма $(K_2O + Na_2O) - TiO_2$ для триасовых базальтов бичурской свиты

Условные обозначения: КР — континентальные рифты; Траппы — траппы [Кузьмин, 1985; Петрология ..., 1987; Фролова, Бурикова, 1997]; 24-П-06, 25-П-06 — вулканиты Ильинско-Борисовской впадины Средний Урал; 5/156, 6/177, 7/192, 7/203, 7/289, 7/295, 7/488,6, 7/547, 7/552 — предоставлены ОАО «Челябинскгеосъемка»

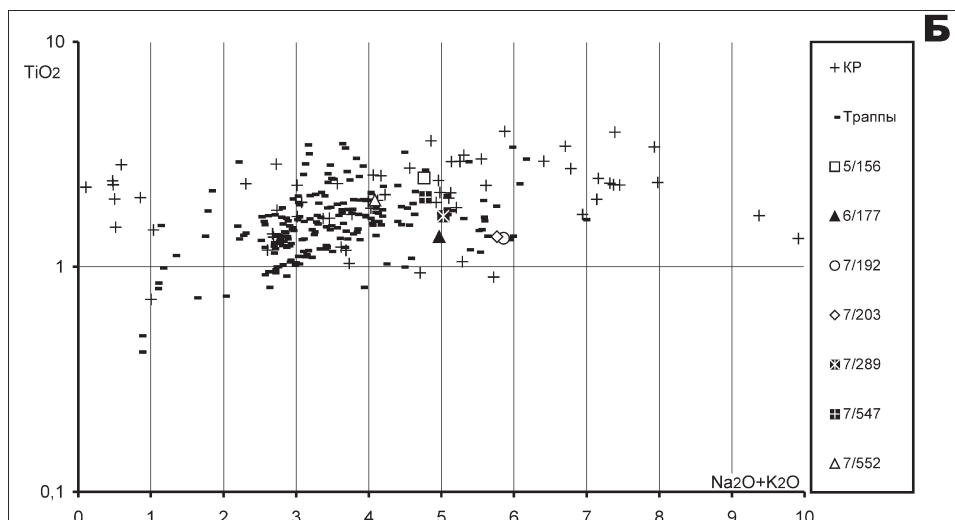


Рис. 5 Б. Диаграмма $(K_2O + Na_2O) - TiO_2$ для вулканитов Ильинско-Борисовской впадины (Средний Урал) (Б)

Условные обозначения см. на рис. 5 А

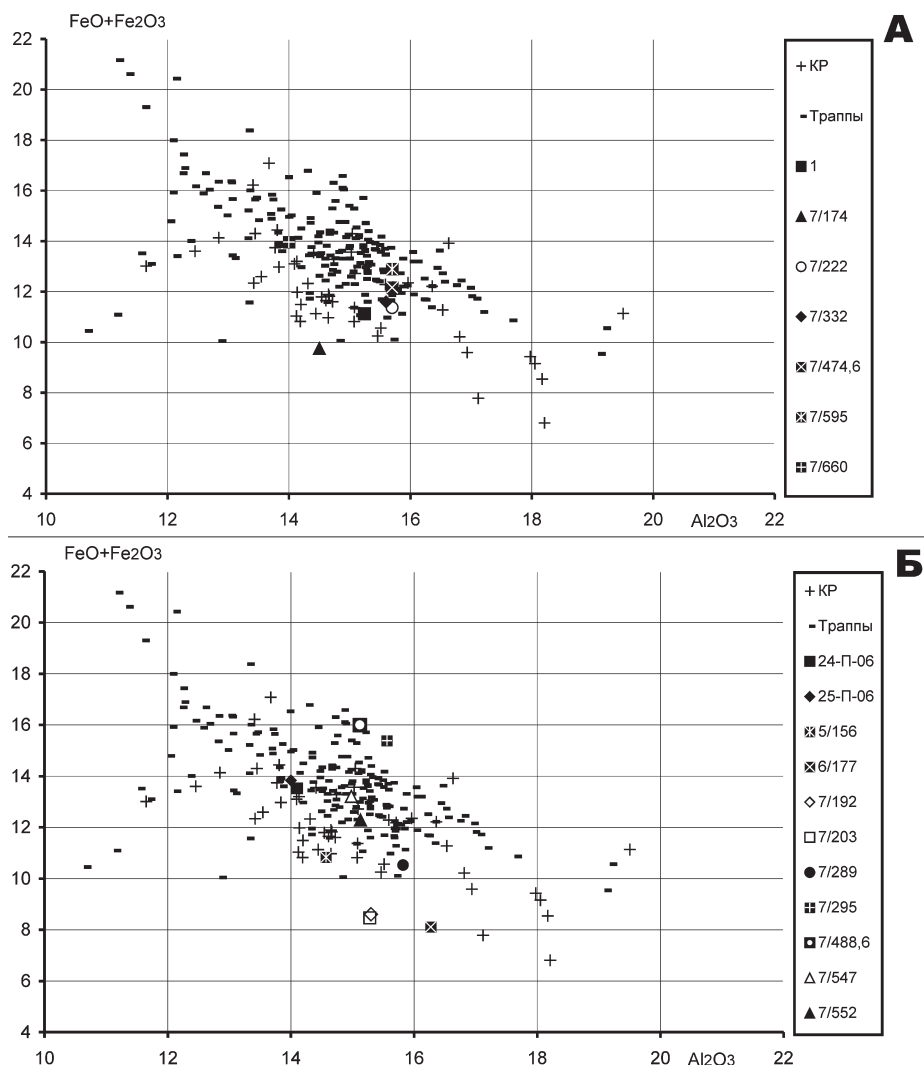


Рис. 6 Диаграмма $Al_2O_3 - (FeO + Fe_2O_3)$ для триасовых базальтов бичурской свиты (А) и вулканитов Ильинско-Борисовской впадины (Средний Урал) (Б)

Условные обозначения: КР — континентальные рифты; Траппы — траппы [Кузьмин, 1985; Петрология ..., 1987; Фролова, Бурикова, 1997]; 24-П-06, 25-П-06 — вулканиты Ильинско-Борисовской впадины Средний Урал; 5/156, 6/177, 7/192, 7/203, 7/289, 7/295, 7/488,6, 7/547, 7/552 — предоставлены ОАО «Челябинскгеосъемка»

превышающий уровень хондрита. Во-вторых, для всех базальтов характерна высокая степень дифференциации концентраций легких и тяжелых РЗЭ. Нормированные к хондриту содержания лантана (La_N) составляют 105–170 ед., а значения Lu почти во всех пробах около 15–20 ед. (табл. 2)

Суммарное содержание РЗЭ в рассматриваемых базальтах варьирует от 185 до 250 г/т (рис. 7) и составляет в среднем по данным 8 анализов 225 г/т. Это значение в два раза больше, чем для триасовых базальтов Сибирской платформы, где оно составляет не более 100 г/т [Балашов, 1976].

На диаграмме ($La^*(Ce)/Lu^*(Yb) - La^*(Ce)$) (рис. 8) рассматриваемые базальты образуют довольно компактное поле, близкое к континентальным рифтам. В то же время отличительной особенностью рассматриваемых вулканитов, по сравнению с базальтами КР, является повышенное содержание кремнезема (табл. 1).

Состав рассматриваемых вулканитов наиболее близок платобазальту, в том числе траппам древних платформ. Для них характерны: насыщенность кремнеземом, преобладание железа над магнием, натрия над калием.

По петрогеохимическим параметрам траппы Челябинского грабена наиболее близки к платобазальтам Американской платформы [Лутц, 1980]. Однако, по сравнению с траппами древних платформ, базальты бичурской свиты имеют свои особенности химизма. Так, например, от траппов тунгусской и пугоранской провинции Сибирской платформы их отличает повышенное содержание TiO_2 (1,7–1,9% против 1,1–1,5%) и K_2O (1,0–1,7%

против 0,6–0,7%), что говорит о более глубинных условиях их выплавления, но меньшее MgO (4,6–4,7% против 6,5–7,5%), CaO (6,7–7,5% против 10–11%). В то же время они схожи с оливиновыми толеитами Байкальского рифта, которые, по Б.Г. Лутцу [1980], являются переходными к известково-щелочным базальтам и характеризуются повышенными содержаниями K_2O (1–1,5%).

Вулканиты Ильинско-Борисовской впадины по петрогеохимическим параметрам схожи с траппами тунгусской и пугоранской провинций Сибирской платформы, но так же, как и базальты бичурской свиты, их отличает высокое содержание TiO_2 (2,25–2,5% против 1,1–1,5%), K_2O (1,0–1,7% против 0,6–0,7%). В последнее время трапповые базальты Западной Сибири сопоставляются по макро- и микроэлементному составу с базальтами, слагающими надеждинскую свиту в районе г. Норильск [Reichow et al., 2005].

При сопоставлении базальтов бичурской свиты с типичными океаническими толеитами [Лутц, 1980] отчетливо просматривается тренд по целому ряду пар элементов: $K-Ti$, $Ti-Zr$, $P-K$, $Ti-V$, $Co-Ni$ и т. д., что указывает на индивидуальность режима развития континентальной коры в платформенную стадию. От океанических толеитов траппы отличаются повышенными содержаниями калия, фосфора, элементов группы железа, РЗЭ; вместе с тем по ряду элементов (Ti , V , Co , Ni , Cr) они сопоставимы с океаническими базальтами, но резко отличаются от последних по РЗЭ, особенно легкой их группе (превышение в 10–50 раз), а также рубидия и стронция (в 3–8 раз больше). Примечательно, что на

Таблица 2

Содержание (в г/т) редкоземельных элементов в базальтах бичурской свиты и вулканитах Ильинско-Борисовской впадины восточного склона Среднего Урала

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8
№ пробы	24-П-06	25-П-06	7/174	7/222	7/332	7/474,6	7/595	7/660
La	44,40	52,60	48,40	58,00	50,90	50,50	45,30	35,70
Ce	86,70	100,00	89,70	100,20	98,20	99,80	89,80	69,70
Pr	9,02	10,90	8,98	10,30	10,10	10,70	9,08	7,91
Nd	34,90	41,10	32,90	39,10	39,00	40,70	34,80	30,30
Sm	8,54	10,40	7,88	9,17	9,38	10,40	8,59	7,54
Eu	3,85	3,34	2,33	2,47	2,35	3,03	3,79	2,13
Gd	10,20	12,30	9,00	10,50	11,00	11,60	9,92	9,20
Tb	1,57	1,87	1,36	1,53	1,68	1,68	1,46	1,39
Dy	9,04	10,80	7,61	8,72	9,50	9,00	8,02	8,00
Ho	2,00	2,25	1,67	1,84	2,05	1,86	1,73	1,78
Er	5,51	6,21	4,47	4,98	5,72	4,93	4,56	4,91
Tu	0,80	0,90	0,62	0,67	0,81	0,65	0,63	0,69
Yb	4,42	4,83	3,42	3,70	4,42	3,46	3,47	3,90
Lu	0,69	0,78	0,53	0,57	0,69	0,52	0,53	0,60
Rb	60,5	–	–	14,7	81,1	12,4	38,6	29,1
Sr	975	775	2540	295	455	1410	1815	270

Примечание: пробы 1 и 2 – вулканиты Ильинско-Борисовской впадины; пробы 3–8 – базальты бичурской свиты (скважина № 7).

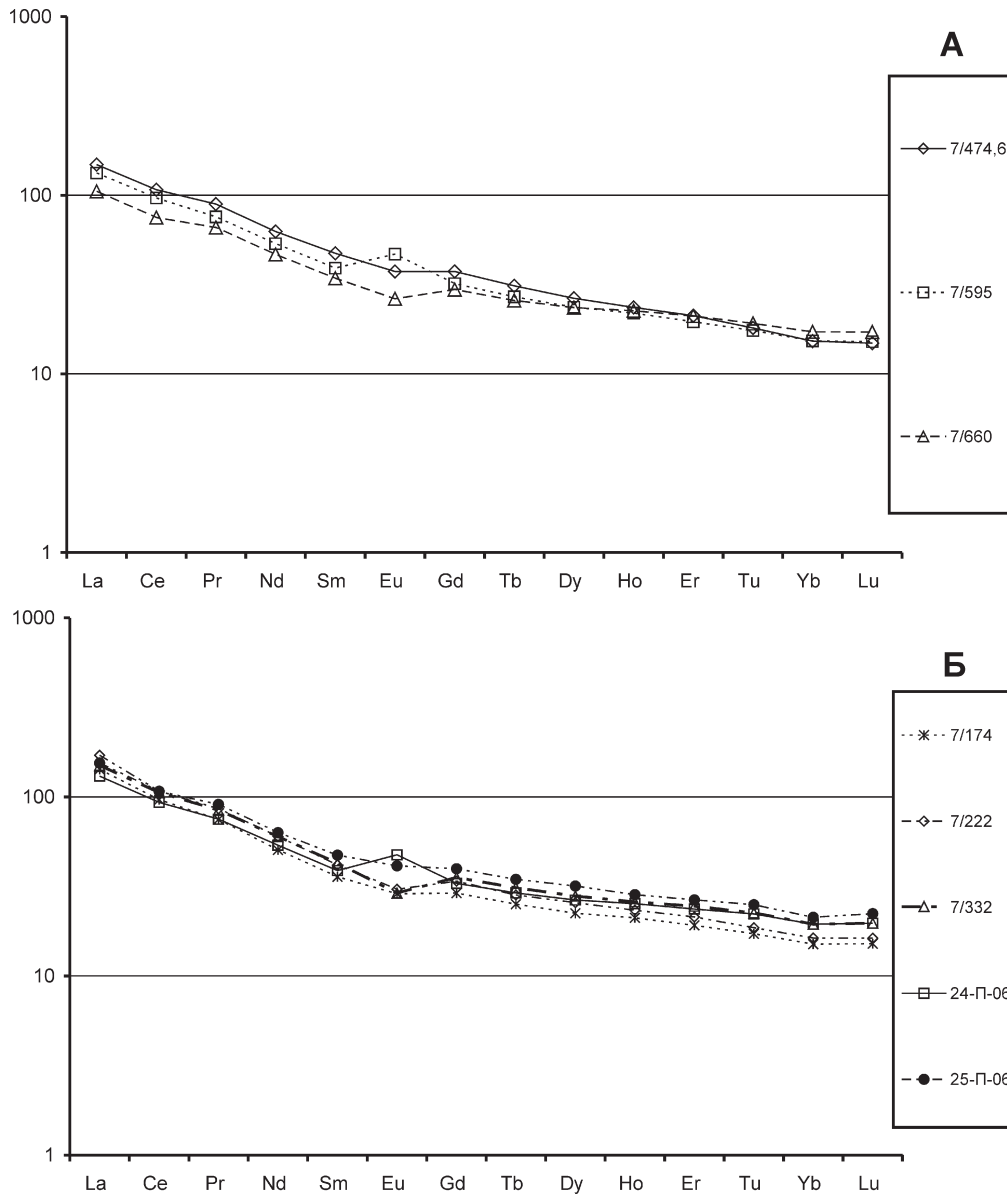


Рис. 7 Распределение редкоземельных элементов в триасовых базальтах бичурской свиты (А) и в вулканитах Ильинско-Борисовской впадины Среднего Урала (Б)

Условные обозначения: 7/174, 7/222, 7/332, 7/474,6, 7/595, 7/660 — базальты бичурской свиты; 24-П-06, 25-П-06 — вулканиты Ильинско-Борисовской впадины Средний Урал

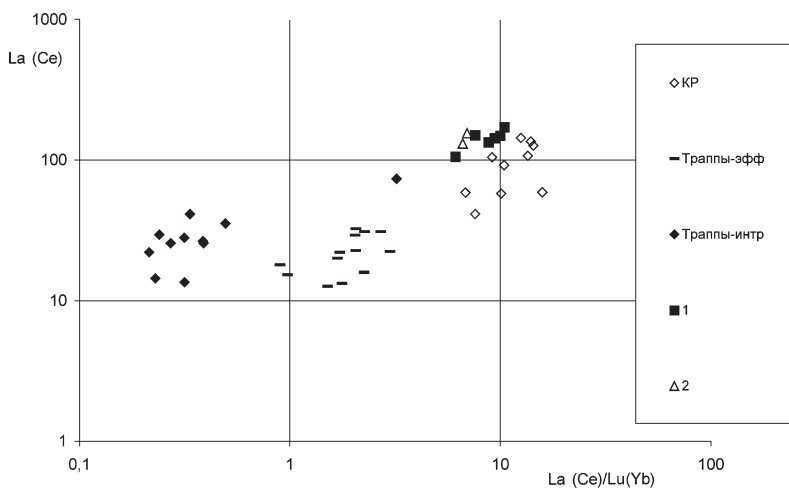


Рис. 8 Диаграмма $La^*(Ce)/Lu^*(Yb) - La^*(Ce)$ для триасовых базальтов бичурской свиты и вулканитов Ильинско-Борисовской впадины (Средний Урал)

Условные обозначения: Континентальные рифты (КР), Траппы по [Балашов, 1976]; 1 — базальты бичурской свиты, 2 — вулканиты Ильинско-Борисовской впадины Средний Урал

диаграмме Rb—Sr, учитывающей зависимость между содержаниями рубидия и стронция в базальтовых выплавках и глубиной их возникновения, траппы бичурской свиты ложатся близ изолинии 30 км (рис. 9). Близкие значения глубинности получены и с помощью зависимости между легкой и тяжелой группой редкоземельных элементов в базальтах, выявленной И.В.Семеновым [1990].

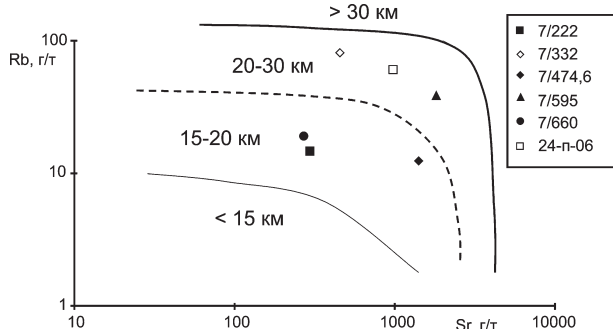


Рис. 9 Диаграмма Rb—Sr для триасовых базальтов бичурской свиты и вулканитов Ильинско-Борисовской впадины

Условные обозначения соответствуют рис. 1; стандартные линии — по [Вулканизм ..., 1990]

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы № 10 ОНЗ РАН «Взаимоотношения Центрально-Азиатского и Урало-Тиманского подвижных поясов на основных этапах их развития»

Литература:

Ардисламов Ф.Р. Петрогеохимические особенности триасовых базальтов Челябинского грабена // Металлогения древних и современных океанов — 2006. Условия рудообразования: Научное издание. Миасс: ИМин УрО РАН, 2006. С. 269—271.

Балашов Ю.А. Геохимия редкоземельных элементов. М.: Наука, 1976. 266 с.

Вулканизм Южного Урала / И.Б. Серавкин, А.М. Косарев, Д.Н. Салихов и др. М.: Наука, 1990. 197 с.

Иванов К.П. Триасовая трапповая формация Урала. М.: Наука, 1974. 154 с.

Кузьмин М.И. Геохимия магматических пород фанерозойских подвижных поясов. Новосибирск, 1985. 198 с.

Лутц Б.Г. Геохимия океанического и континентального магматизма. М.: Недра, 1980. 247 с.

Петрология и геохимия островных дуг и окраинных морей / *Отв. ред. О.А. Богатиков.* М.: Наука, 1987. 336 с.

Семенов И.В. Состав РЗЭ в палеоокеанических базальтах Урала и океанских толеитах как индикатор глубин парциального плавления в верхней мантии: Препринт / ИГиГ УрО РАН. Свердловск, 1990. 65 с.

Фролова Т.И., Бурикова И.А. Магматическая формация современных геотектонических обстановок. М.: Изд-во МГУ, 1997. 320 с.

Reichow M.K., Saunders A.D., White R.V. et al. Geochemistry and petrogenesis of basalt from the West Siberian: an extension of the Permo-Triassic Siberian traps, Russian // *Litos.* 2005. V. 79, Issues 3—4. P. 425—452.