

ПЕТРОГЕОХИМИЧЕСКИЕ И ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ОРДОВИКСКО-РАННЕСИЛУРИЙСКИХ БАЗАЛЬТОВ ВОСТОЧНОГО СКЛОНА ЮЖНОГО УРАЛА

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Проблема формирования базальтоидов раннего этапа развития восточного склона Южного Урала неоднократно обсуждалась в печати геологической общественностью. Обращались к ней и авторы данной статьи [Голдин, Пучков, 1978; Магматизм ..., 1990; 1994; Пучков, 2000]. В последнее время в связи с завершением геолого-съемочных работ М 1:200 000 в пределах большей части рассматриваемого региона и появлением нового материала по данной проблеме нами сделана попытка сопоставить петрогеохимические особенности базальтов различных структурно-формационных зон между собой, а также с основными породами современных геодинамических обстановок (рис. 1).

В западной части Магнитогорской мегазоны базальты широко развиты в разрезе поляковской свиты и залегают в виде блоков в серпентинитовом меланже Вознесенско-Присакмарской зоны (рис. 2). Возраст свиты определяется как ордовик — ранний силур [Пучков, 2000]. Эталонный разрез вулканитов севернее д. Поляковка датирован по конодонтам средним ордовиком [Первые ..., 1989]. Рядом авторов они относятся к продуктам субокеанической стадии развития [Тектоника ..., 1977; Вулканизм ..., 1990]. По мнению некоторых исследователей [Знаменский, 1994], в составе поляковской свиты присутствуют три типа базальтов, последовательно сменяющих друг друга в разрезе: 1) на нижнем уровне залегают вулканиты, «сопоставимые со стратоидной серией Афара» или обстановкой континентального рифтогенеза; 2) на среднем уровне — близкие по составу к толеитам осевой части Красного моря и 3) в верхней части разреза развиты базальты островодужного типа (O_3-S_1). На северо-восточном фланге Магнитогорской мегазоны (в пределах Арамилско-Сухтелинской зоны) ордовикские базальты широко представлены в составе шеметовской и крайне незначительно в булатовской толщах (рис. 2). Ордовикский возраст шеметовской толщи установлен по конодонтам [Тевелев, Кошелева, 2002], а булатовской (токмасской или большаковской, в понимании В.Ф. Турбанова) — по находкам средне-позднелландоверийских радиолярий в прослоях углисто-кремнистых сланцев в верхней части разреза основных эффузивов [Турбанов, 1988 ф]. Нами низы булатовской толщи рассматриваются в качестве верхней составной части шеметовской и относятся к O_3-S_1 .

Вулканиты среди терригенных отложений, надежно датированных ранним ордовиком [Анцы-

гин, 1978; Мамаев, 1965], известны также в центральной части Восточно-Уральского поднятия. Они вскрыты скважинами в разрезе на горе Маячной (Брединский район) и входят в состав одноименной свиты. Вулканиты представлены пикробазальтами и пикритами и имеют резко подчиненное распространение по отношению к осадочным породам (аркозовым и полимиктовым песчаникам, алевролитам). В северной части Восточно-Уральского поднятия (между гипербазитами Казбаевского пояса и Челябинским гранитным массивом) узкой полосой в меридиональном направлении протягиваются отложения самарской толщи, разрез которой довольно точно повторяет стратотип маячной свиты [Петров и др., 2002 ф; Мамаев, 1965], с той лишь разницей, что вместо пикритобазальтов здесь присутствуют субщелочные и толеитовые базальты. Возраст толщи условно принят нами как нижний ордовик по аналогии с маячной свитой. Этому не противоречат определения U—Pb методом возраста цирконов из кварцевых песчаников центральной части разреза [Протерозойские..., 1997]: 2069 ± 63 , 531 ± 43 млн. лет.

В пределах Восточно-Уральского прогиба непосредственно южнее Челябинского массива широко развиты базальты саргазинской толщи. Возраст ее датирован как ранний — средний ордовик, учитывая находки средне-позднеордовикских конодонтов в согласно перекрывающих известняках [Сначев, Мавринская, 1995]. В основании саргазинской толщи залегают субщелочные базальты, близкие по составу к вулканитам самарской толщи. Выше они сменяются маломощной пачкой относительно высокотитанистых и далее — низкотитанистых базальтов. Последние слагают большую часть разреза (более 800 м). Далее на юг отложения саргазинской толщи наращиваются базальтами, андезитобазальтами и андезитами кособродской толщи, возраст которой, учитывая K—Ar датировки и находки силурийских радиолярий в кремнистых туффитах верхних частей разреза и эйфельских — в перекрывающих отложениях [Шулькин и др., 1986 ф], принимается как силур (S_{1-2}).

К среднему — верхнему ордовику [Мамаев, 1965; Ключина, 1985] относится и вулканогенно-осадочные образования увельской (троицкой) свиты, обнажающиеся непосредственно в черте г. Троицка. Здесь в ассоциации с аркозовыми песчаниками, алевролитами и сланцами отмечены субщелочные базальты рифтогенного типа [Кориневский, 1980].

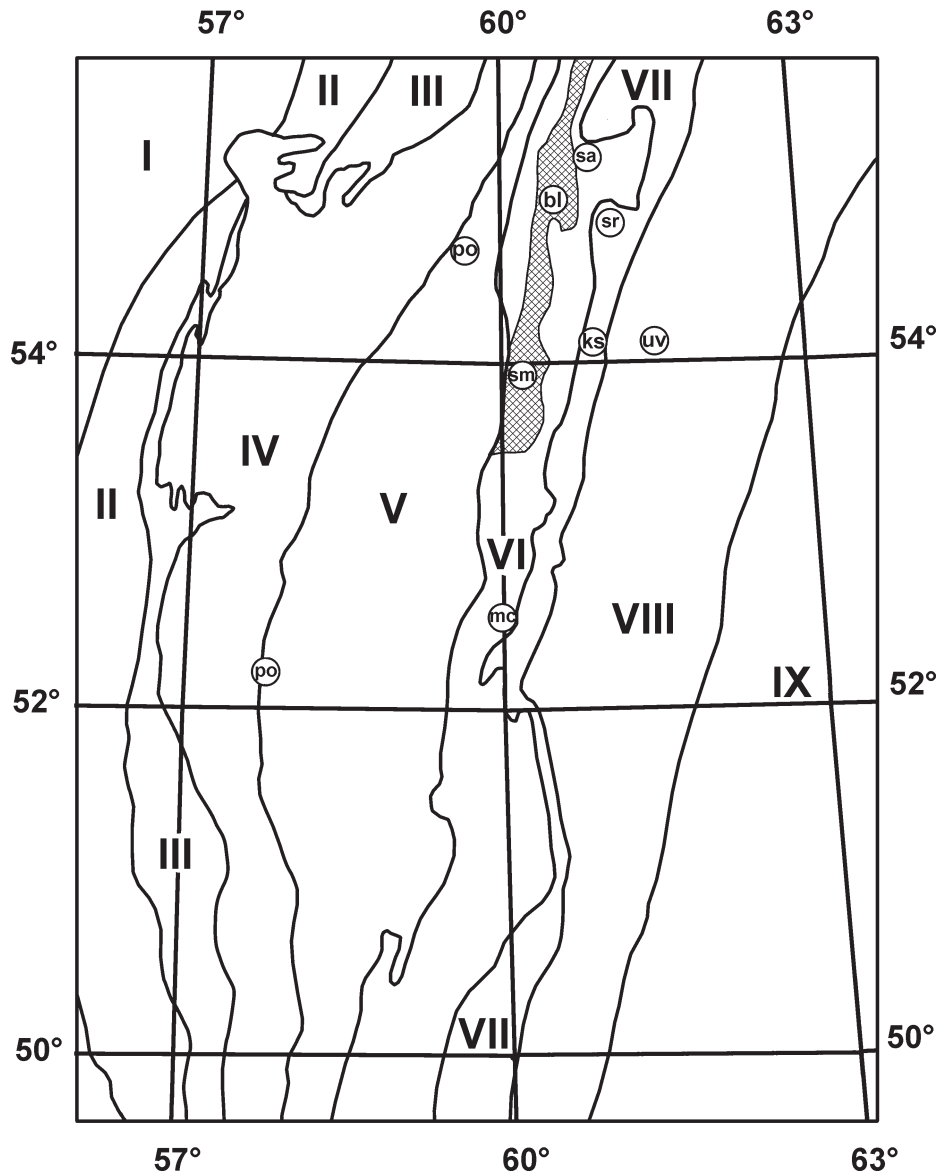


Рис. 1 Схема размещения О–S₁ базальтов в пределах восточного склона Южного Урала

Условные обозначения. Свиты: mc — маячная, po — поляковская, sm — шеметовская, ks — кособродская, uv — увельская, sa — самарская, sr — саргазинская, bl — булатовская. Заштрихованный участок — Арамильско-Сухтелинская зона. Римскими цифрами показаны зоны: I — Русская платформа; II — Предуральский краевой прогиб; III — Западно-Уральская зона линейной складчатости; IV — Центрально-Уральское поднятие; V — Магнитогорский мегасинклиорий; VI — Восточно-Уральское поднятие; VII — Восточно-Уральский прогиб; VIII — Зауральское поднятие; IX — Тюменско-Кустанайский прогиб

ФАКТИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ

Задачей наших исследований было сравнение петрохимии вышеупомянутых ордовикско-раннесилурийских базальтов и уточнение их геодинамической природы.

На первом этапе решения проблемы формирования базальтов восточного склона Южного Урала нами осуществлен сбор и проведена обработка опубликованных данных по петрогеохимическим особенностям базальтов современных, а также эталонных древних геодинамических обстановок (ГДО). Петрогеохимические данные, характеризующие базальты траппов, континентальных рифтов

(КР), срединно-океанических хребтов (СОХ), океанических плит (ОП), островных дуг (ОД), глубоководных желобов (ГЖ), окраинных морей (ОМ), заимствованы из работ [Альмухаметов и др., 1984; Вертикальная аккреция ..., 2002; Петрохимия ..., 1991; Петрология ..., 1987; Геология ..., 1980; Происхождение ..., 1985; Строение ..., 1989; Магматические ..., 1985; Вещественный ..., 1992; Фролова, Бурикова, 1997; Кузьмин, 1985; и др.]. Всего обработано более 1000 анализов. Значительный объем накопленных на сегодняшний день данных по химизму базальтов различных ГДО позволяет провести анализ распределения в них главных петрохимических параметров на основе статистических

гистограмм. Такой подход выявил наиболее информативные компоненты, на основе которых затем строятся бинарные и тройные диаграммы, позволяющие более четко разделить базальты различных ГДО. Статистические диаграммы нами были построены для SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , $FeO + Fe_2O_3$, MgO , $Na_2O + K_2O$, а также $F = (FeO + Fe_2O_3)/(MgO + FeO + Fe_2O_3)$, Na_2O/K_2O и $al' = Al_2O_3/(MgO + FeO + Fe_2O_3)$ после предварительного пересчета всех анализов на 100% в расчете на безводный состав. Анализ приведенных гистограмм (к сожалению в рамках статьи их привести невозможно) показывает, что наиболее информативными петрогенными компонентами для разделения базальтов различных ГДО являются TiO_2 , Al_2O_3 , al' , ΣFeO и щелочи. Это подтверждается при построении ряда диаграмм: $Na_2O + K_2O - TiO_2$; $al' - TiO_2$; $Al_2O_3 - \Sigma FeO$ (рис. 6–8), где римскими цифрами обозначены поля «эталонных» геодинамических обстановок, контуры которых отрисовывались на основе всего банка имеющихся химических анализов.

Второй этап заключался в сборе и обработке петрогеохимического материала по надежно датированным базальтам ордовика и нижнего силура Южного Урала. Полная выборка составила: 379 силикатных, 208 атомно-абсорбционных (Co, Ni, Cr), 114 нейтронно-активационных (РЗЭ) анализов основных пород поляковской, шеметовской, булатовской, маячной, саргазинской, самарской, увельской и кособродской толщ. Часть анализов выполнена нами в Институте геологии УНЦ РАН (химический и атомно-абсорбционный метод), ГЕОХИ (нейтронно-активационный метод) и нигде ранее не опубликована (табл. 1, 2). Другая часть заимствована из опубликованных работ [Магматизм ..., 1990], А.Л. Тевелева и Н.А. Кошелевой [2002], Д.Н. Салихова [2004], М.И. Лазарева [1977], А.М. Косарева с соавторами [Spadea et al., 2002] и фондовых отчетов В.Ф. Турбанова [1975 ф], В.И. Петрова и др. [2002 ф], А.В. Моисеева и др. [2002 ф].

АНАЛИЗ ФАКТИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА

Основной классификационной диаграммой для магматических пород является диаграмма $SiO_2 - (Na_2O + K_2O)$, позволяющая разделять породы нормальной, субщелочной и щелочной серий

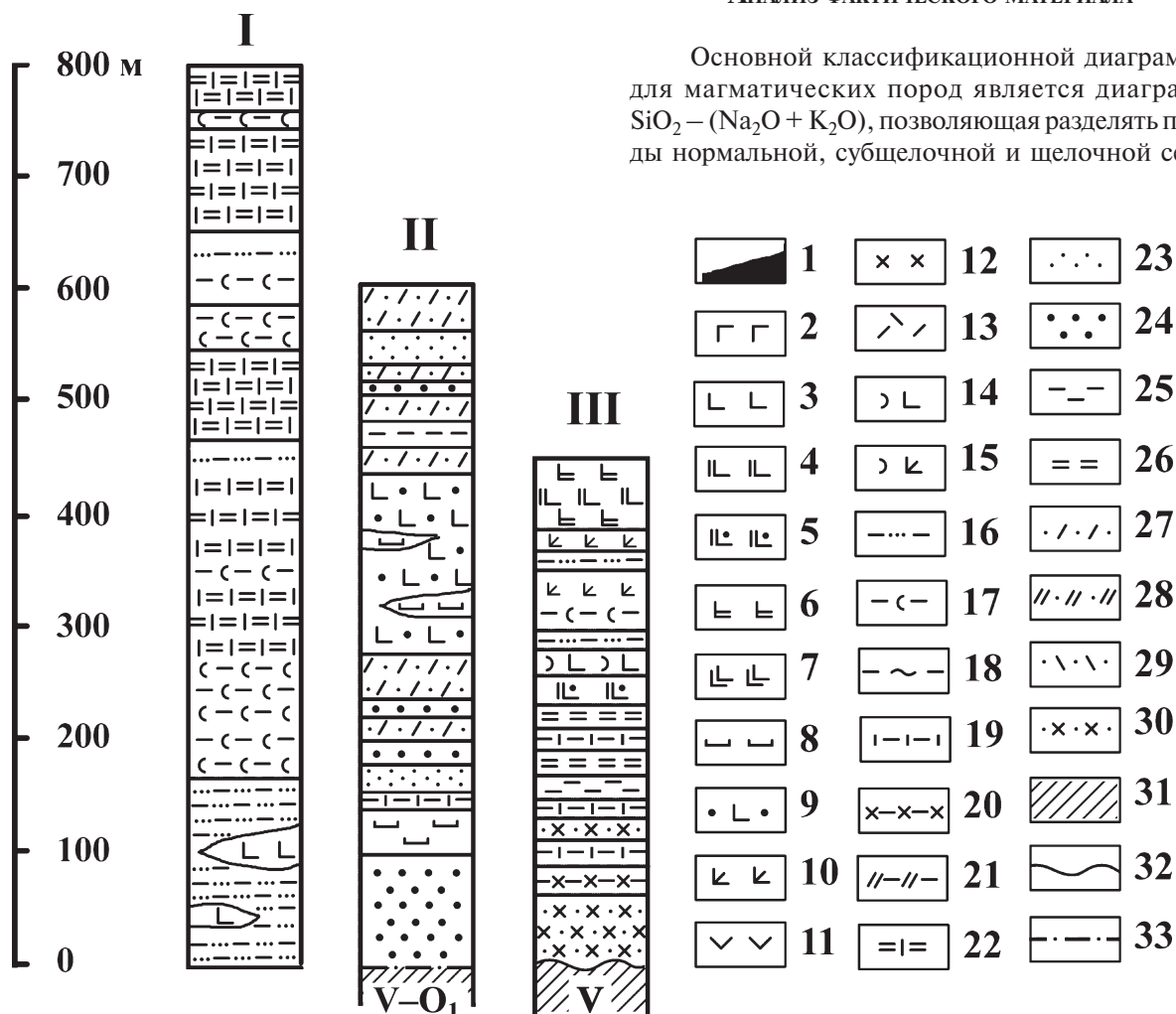
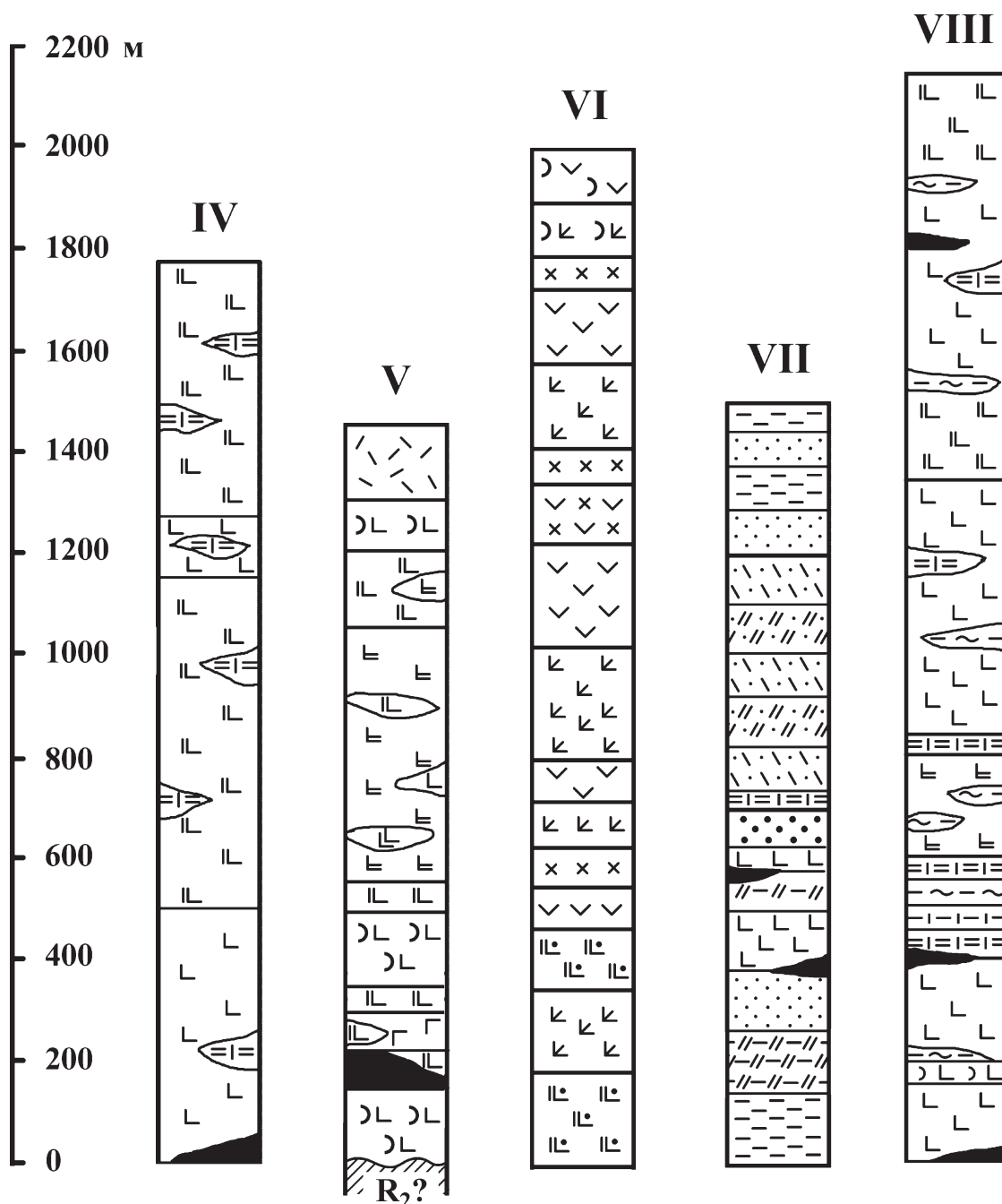


Рис. 2 Схематические стратиграфические колонки булатовской (I, по В.И. Петрову и др. [2002 ф]), маячной (II, по Э.В. Шалагинову [1988 ф]), увельской (III, по М.Л. Ключиной [1985]), шеметовской (IV, по А.И. Моисееву и др. [2002 ф]), саргазинской (V, по Н.С. Кузнецову и др. [1999 ф]), кособродской (VI, по [Магматизм ..., 1990]), самарской (VII, по Н.С. Кузнецову и др. [1999 ф]), поляковской (VIII, по В.А. Маслову, О.В. Артюшковой [2000])

(рис. 3). Разделение пород нормальной щелочности и субщелочной серий обычно проводится с использованием линейной дискриминантной функции, имеющей вид $0,0145 \cdot \text{SiO}_2 - 0,056 \cdot (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) = 0,4824$ [Магматические ..., 1983]. В свою очередь, базальты нормальной щелочности разделяются по критерию Мияширо ($\Sigma\text{FeO}/\text{MgO} = 0,1562 \cdot \text{SiO}_2 - 6,685$) на толеитовые и известково-щелочные (рис. 4).

Изученные нами базальты ордовика и нижнего силура Южного Урала представлены толеитовыми, субщелочными и известково-щелочными разновидностями. Лишь в основании саргазинской толщи (два образца из скважины Т-4/621, Т-3/650; [Магматизм ..., 1990]) известны щелочные базальты (рис. 3). При этом в составе булатовской и маячной толщ в значительной степени преобладают толеиты,



Условные обозначения: 1 — серпентиниты; 2 — габбро; 3 — диабазы; 4 — плагиоклазовые и пироксен-плагиоклазовые порфириты базальтового состава; 5 — плагиоклазовые порфириты основного состава; 6 — афировые базальты; 7 — микропорфириты базальтового состава; 8 — пикритобазальты; 9 — оливинные базальты; 10 — андезит-базальты; 11 — андезиты; 12 — дациты; 13 — риолиты; 14 — туфы основного состава; 15 — туфы андезит-базальтового состава; 16 — туфопесчаники; 17 — туфоалевролиты; 18 — кремнисто-глинистые сланцы; 19 — серицит-глинистые сланцы; 20 — хлорит-серицитовые сланцы; 21 — филлиты; 22 — углисто-кремнистые сланцы; 23 — полимиктовые песчаники; 24 — гематитизированные полимиктовые песчаники, алевролиты; 25 — алевролиты; 26 — аргиллиты; 27 — кварцевые песчаники; 28 — полевошпат-кварцевые песчаники; 29 — кварцитопесчаники; 30 — аркозовые песчаники; 31 — породы фундамента; 32 — стратиграфическое несогласие; 33 — тектонический контакт

Химический состав O-S₁ базальтоидов восточного склона Южного Урала

№ п/п	Толща	Номерпробы	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	F ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	ппп	Сумма
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	Кособродская	У-42/105	52,21	0,38	15,70	7,85	-	0,32	12,97	5,30	4,41	0,80	0,07	7,86	99,60
2	Кособродская	У-42/115	53,28	0,40	15,99	8,90	-	0,30	15,19	2,91	2,82	0,13	0,08	8,32	100,48
3	Кособродская	У-42/158	54,21	0,71	17,54	10,37	-	0,15	9,01	4,21	3,44	0,24	0,13	4,01	99,75
4	Кособродская	У-42/200	54,32	0,49	14,72	7,58	-	0,21	8,47	10,12	3,79	0,13	0,17	9,78	99,52
5	Кособродская	У-42/242	52,38	0,40	15,32	8,08	-	0,17	10,48	9,82	3,00	0,27	0,07	8,82	100,45
6	Кособродская	У-42/29	55,08	0,68	17,10	9,88	-	0,17	10,11	3,15	3,72	0,02	0,10	5,71	99,76
7	Кособродская	У-42/320	54,79	0,67	13,16	10,16	-	0,07	11,09	5,17	3,63	1,16	0,09	6,34	99,70
8	Кособродская	У-42/36	54,50	0,82	19,88	8,54	-	0,11	4,88	8,27	2,94	0,37	0,32	5,70	99,10
9	Кособродская	У-42/499	54,47	0,38	16,92	8,98	-	0,03	8,86	6,30	3,75	0,25	0,06	4,12	99,86
10	Кособродская	У-42/65	47,11	0,73	21,12	11,78	-	0,19	13,06	2,59	3,27	0,06	0,09	6,92	100,31
11	Кособродская	У-42/71	53,99	0,62	17,64	8,26	-	0,15	11,80	4,17	3,20	0,07	0,08	4,96	99,60
12	Маячная	М-22/102,9	43,00	1,06	10,11	12,00	-	0,16	19,60	8,20	1,35	0,25	0,06	3,36	100,51
13	Маячная	М-22/103	43,19	1,02	10,00	12,80	-	0,16	19,60	8,20	1,35	0,25	0,06	3,50	100,40
14	Маячная	М-22/107	43,20	1,18	16,54	13,00	-	0,13	11,20	8,52	3,38	0,10	0,12	2,62	100,17
15	Маячная	М-22/121	43,20	1,18	16,54	12,80	-	0,14	12,20	7,38	2,90	0,10	0,12	2,50	98,94
16	Маячная	М-22/198	41,53	0,83	10,00	12,80	-	0,16	19,80	7,95	0,54	0,10	0,03	5,80	99,51
17	Маячная	М-22/198,1	41,40	0,83	10,00	12,80	-	0,16	19,80	7,95	0,54	0,10	0,03	6,20	99,78
18	Маячная	М-22/83	41,41	0,87	11,45	12,50	-	0,16	18,20	7,10	1,68	0,10	0,03	7,10	100,57
19	Маячная	М-22/83,1	41,41	0,87	11,41	12,50	-	0,16	18,20	7,38	1,68	0,10	0,03	7,00	100,87
20	Маячная	М-24/105	43,20	1,54	22,30	20,60	-	0,02	2,40	0,86	4,08	2,50	0,21	2,02	99,48
21	Маячная	М-24/105,1	43,80	1,64	22,40	21,20	-	0,02	2,50	0,57	2,70	1,78	0,20	2,90	99,51
22	Маячная	М-24/110	43,19	1,57	16,53	17,50	-	0,28	11,00	1,42	3,30	0,05	0,12	6,10	100,94
23	Маячная	М-24/119	44,20	1,49	16,00	11,80	-	0,28	12,00	1,42	6,07	0,05	0,08	6,04	100,35
24	Маячная	М-24/169	43,40	0,81	8,54	12,80	-	0,14	7,90	9,66	0,54	0,50	0,13	16,88	99,27
25	Маячная	М-24/169,1	43,26	0,81	8,54	12,80	-	0,13	7,00	9,74	0,54	0,50	0,08	16,76	100,28
26	Маячная	М-25/200	41,20	0,87	10,00	12,80	-	0,16	18,60	7,95	1,35	0,05	0,03	7,08	101,00
27	Маячная	М-25/200,1	41,86	0,87	11,41	12,40	-	0,15	17,00	8,52	2,70	0,05	0,03	4,45	99,34
28	Маячная	М-25/220	41,40	0,83	10,71	12,02	-	0,15	16,20	8,52	2,02	0,10	0,07	7,20	98,62
29	Маячная	М-25/220,1	42,00	0,73	10,63	13,00	-	0,16	15,60	7,60	0,54	0,10	0,07	8,78	99,01
30	Самарская	П-35/100	52,31	1,78	15,66	12,28	-	0,65	6,23	5,49	5,08	0,34	0,17	5,70	100,52
31	Самарская	П-35/127	53,07	1,42	15,49	11,14	-	0,60	6,74	5,01	5,21	1,16	0,16	5,99	100,21
32	Самарская	П-35/136	50,49	1,54	16,57	11,28	-	0,35	6,88	5,93	5,03	1,72	0,20	3,13	99,68

Окончание таблицы 1

33	Самарская	П-35/53	52,66	2,84	12,03	17,60	-	0,08	6,56	4,38	3,28	0,13	0,43	3,71	100,56
34	Самарская	П-39/215	53,12	1,32	15,03	11,68	-	0,17	9,95	4,48	4,03	0,06	0,15	2,54	99,77
35	Самарская	П-39/245,5	50,27	1,28	17,00	11,69	-	0,36	9,78	4,22	5,03	0,13	0,26	6,14	100,24
36	Самарская	П-39/265	52,66	1,47	12,36	14,10	-	0,40	10,19	5,09	3,35	0,13	0,25	7,56	99,78
37	Самарская	П-39/266	51,61	1,40	12,02	9,80	-	0,21	9,07	10,80	3,80	0,65	0,64	4,60	99,45
38	Самарская	П-39/267	49,88	1,08	10,09	9,57	-	0,22	15,86	9,35	2,78	0,67	0,50	2,92	100,05
39	Самарская	П-39/274	51,71	1,10	11,95	14,88	-	0,27	7,23	9,35	3,24	0,13	0,15	4,06	99,49
40	Самарская	П-39/285	46,29	1,59	11,36	19,65	-	0,27	10,29	6,22	3,70	0,51	0,12	3,58	100,80
41	Самарская	П-39/288	48,08	1,59	12,48	16,37	-	0,35	10,26	7,24	3,46	0,06	0,12	2,96	100,72
42	Саргазинская	П-4/189,5	56,16	0,53	13,68	13,79	-	0,19	4,80	8,75	1,53	0,53	0,04	8,94	99,31
43	Саргазинская	П-4/400	51,31	0,41	12,83	11,27	-	0,18	13,87	8,00	2,09	0,01	0,03	7,48	99,77
44	Саргазинская	П-4/450	52,22	0,68	16,90	14,08	-	0,16	8,66	7,52	3,71	0,09	0,18	4,14	99,61
45	Саргазинская	П-4/490	53,09	0,77	15,12	11,80	-	0,14	7,16	4,31	3,29	0,06	0,09	3,85	99,92
46	Саргазинская	П-67/1077	52,53	0,93	16,06	12,77	-	0,14	5,05	9,81	2,57	0,06	0,07	3,19	99,90
47	Саргазинская	П-67/1100	53,29	0,80	14,10	13,27	-	0,18	8,85	5,34	3,98	0,14	0,06	4,04	99,77
48	Саргазинская	П-67/1138	50,10	0,44	12,02	9,49	-	0,17	10,13	14,84	2,44	0,34	0,03	5,26	100,07
49	Саргазинская	П-67/1173	52,63	0,56	16,02	12,14	-	0,15	7,55	8,20	1,81	0,89	0,05	4,08	99,46
50	Саргазинская	П-67/1190	50,32	1,67	16,09	10,48	-	0,17	6,91	11,56	2,54	0,22	0,04	7,88	100,48
51	Шеметовская	Вор-1	58,90	0,95	13,40	9,60	-	0,12	5,00	8,80	2,20	0,12	0,06	0,32	99,47
52	Шеметовская	Вор-2	50,00	1,32	14,00	13,00	-	0,19	7,80	9,90	3,36	0,12	0,08	0,20	99,97
53	Шеметовская	Вор-3/2	47,50	1,32	15,00	12,00	-	0,18	7,20	12,49	3,70	0,13	0,08	0,20	99,70
54	Шеметовская	Вор-4/1	47,00	1,44	16,00	14,10	-	0,18	7,00	9,64	4,00	0,50	0,10	0,08	100,04
55	Шеметовская	Вор-5	47,00	1,44	16,00	13,00	-	0,19	8,40	9,50	4,05	0,25	0,08	0,08	99,99
56	Шеметовская	Кл-6/1	47,60	1,80	14,50	13,60	-	0,19	6,40	10,19	4,25	0,50	0,11	1,00	100,14
57	Шеметовская	Кл-6/2	51,80	1,22	16,00	12,30	-	0,14	6,20	2,89	6,55	0,25	0,14	2,36	99,85
58	Шеметовская	Лин-1	48,00	1,58	14,70	12,80	-	0,17	7,40	9,37	4,50	0,30	0,10	0,74	99,66
59	Шеметовская	Лин-2	50,15	1,27	15,10	11,80	-	0,16	8,00	5,68	4,73	0,50	0,08	2,52	99,54
60	Шеметовская	Лин-3	50,00	1,69	15,00	13,00	-	0,19	7,40	7,10	3,84	0,50	0,11	0,82	99,65
61	Шеметовская	Лин-5	49,10	1,94	15,00	14,50	-	0,24	7,00	7,10	4,00	0,35	0,14	0,50	99,87
62	Шеметовская	Лин-6	50,60	1,80	15,00	13,80	-	0,21	7,80	5,94	3,40	0,50	0,11	0,44	99,60
63	Шеметовская	Лин-7	47,00	1,76	14,00	14,80	-	0,22	7,40	9,37	2,70	0,40	0,11	2,14	99,90
64	Шеметовская	Мр-8/1	47,50	1,22	15,00	12,00	-	0,16	7,60	11,93	4,05	0,08	0,07	0,20	99,81
65	Шеметовская	Мр-8/2	44,00	1,50	17,00	14,80	-	0,19	7,20	8,80	4,05	0,25	0,11	1,36	99,26
66	Шеметовская	Мр-9/1	44,00	1,44	16,00	13,00	-	0,18	9,00	10,49	4,05	0,12	0,14	0,68	99,40
67	Шеметовская	Мр-9/2	47,40	1,82	16,00	14,00	-	0,21	6,00	8,52	5,06	0,17	0,59	0,60	100,37

Примечание: пробы с №№ 1–50 отобраны из керна скважин по Увельской площади (1–11), г. Маячной (12–29), по Полетаевской площади (30–50); пробы с №№ 51–55, 56–57, 58–63, 64–67 – соответственно близ населенных пунктов Воронцово, Кильш, Линевка, Магалево.

Содержание (в г/т) редкоземельных и малых элементов в базальтоидах

№ п/п	Толща	Номер пробы	Cr	Ni	Co	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tu	Yb	Lu
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	Кособродская	У-42/105	164	67	57	9,80	19,90	2,33	9,34	2,51	0,28	3,00	0,43	2,27	0,46	1,17	0,16	0,79	0,12
2	Кособродская	У-42/115	157	65	76	8,23	17,30	2,20	9,25	2,63	1,17	2,77	0,35	1,76	0,34	0,78	0,10	0,45	0,06
3	Кособродская	У-42/158	14	30	44	2,21	6,10	1,03	5,75	2,13	0,30	3,48	0,57	3,52	0,83	2,52	0,41	2,38	0,43
4	Кособродская	У-42/200	15	49	56	0,60	2,33	0,58	4,83	2,58	0,85	4,02	0,63	3,78	0,85	2,48	0,39	2,00	0,37
5	Кособродская	У-42/242	38	54	66	1,91	4,62	0,67	3,32	1,07	0,42	1,34	0,19	1,09	0,22	0,59	0,08	0,43	0,07
6	Кособродская	У-42/29	23	36	59	3,29	9,10	1,43	4,08	2,38	1,00	3,00	0,43	2,48	0,49	1,30	0,18	0,93	0,14
7	Кособродская	У-42/320	33	64	72	9,11	18,50	2,22	9,00	2,43	0,10	2,80	0,41	2,24	0,45	1,18	0,16	0,83	0,13
8	Кособродская	У-42/36	21	39	60	8,29	16,90	2,07	7,99	2,23	0,13	2,60	0,36	1,90	0,39	0,98	0,14	0,67	0,10
9	Кособродская	У-42/499	7	42	48	31,40	69,00	9,00	40,00	11,50	2,97	13,80	2,00	11,00	2,25	6,00	0,81	4,29	0,64
10	Кособродская	У-42/65	21	53	75	4,92	12,80	1,89	9,22	3,11	1,28	4,21	0,60	3,22	0,67	1,73	0,24	1,23	0,18
11	Кособродская	У-42/71	17	35	71	6,69	13,30	1,49	6,21	1,63	0,41	2,26	0,35	2,21	0,48	1,39	0,22	1,20	0,20
12	Маячная	М-22/102,9	1054	980	75	0,74	2,70	0,59	4,30	2,04	0,25	3,15	0,52	3,04	0,70	2,03	0,33	1,75	0,32
13	Маячная	М-22/103	917	900	75	0,91	3,10	0,61	4,10	1,94	0,27	3,20	0,53	3,25	0,75	2,25	0,36	1,96	0,37
14	Маячная	М-22/107	575	260	75	4,26	11,00	1,68	8,35	2,81	0,39	4,21	0,63	3,62	0,78	2,20	0,33	1,72	0,28
15	Маячная	М-22/121	356	250	60	0,96	3,30	0,67	4,72	2,11	0,26	3,00	0,47	2,71	0,58	1,57	0,23	1,24	0,20
16	Маячная	М-22/198	1806	900	80	1,13	3,50	0,66	4,11	1,83	0,79	2,80	0,44	2,61	0,56	1,54	0,23	1,27	0,21
17	Маячная	М-22/198,1	1827	950	85	3,52	10,20	1,60	8,81	3,14	0,58	4,48	0,66	4,00	0,85	2,32	0,36	1,78	0,31
18	Маячная	М-22/83	1136	850	85	2,16	6,00	0,99	5,53	2,11	0,16	3,48	0,56	3,48	0,79	2,31	0,37	2,00	0,38
19	Маячная	М-22/83,1	1498	820	80	2,40	6,53	1,07	5,78	1,99	0,21	2,84	0,47	2,75	0,63	1,80	0,27	1,53	0,26
20	Маячная	М-24/105	404	270	50	16,00	35,80	4,73	21,90	6,22	0,34	9,00	1,39	8,22	1,86	5,30	0,79	4,49	0,72
21	Маячная	М-24/105,1	595	260	60	16,30	35,90	4,78	22,10	6,32	2,53	9,01	1,44	8,78	2,00	5,90	0,89	5,03	0,89
22	Маячная	М-24/110	534	160	50	3,21	8,97	1,35	7,22	2,50	1,03	3,70	0,57	3,22	0,71	1,97	0,29	1,60	0,27
23	Маячная	М-24/119	575	170	45	3,11	9,00	1,44	8,00	3,00	0,30	4,32	0,63	3,70	0,79	2,22	0,33	1,73	0,28
24	Маячная	М-24/169	1368	530	60	2,87	8,22	1,33	7,35	2,66	0,24	3,52	0,53	2,97	0,64	1,75	0,26	1,35	0,22
25	Маячная	М-24/169,1	1033	490	60	2,51	7,10	1,22	6,62	2,37	0,72	3,41	0,53	3,01	0,67	1,86	0,28	1,53	0,26
26	Маячная	М-25/200	1368	900	90	1,73	4,69	0,76	4,25	1,60	0,17	2,39	0,37	2,30	0,52	1,53	0,23	1,34	0,23
27	Маячная	М-25/200,1	1136	900	85	1,72	4,70	0,77	4,38	1,65	0,67	2,71	0,44	2,77	0,66	1,98	0,33	1,78	0,34
28	Маячная	М-25/220	790	740	80	1,84	5,10	0,83	4,75	1,75	0,64	2,72	0,42	2,60	0,58	1,69	0,26	1,45	0,25
29	Маячная	М-25/220,1	1881	960	85	2,72	6,99	1,07	5,50	1,93	0,78	3,00	0,51	3,12	0,74	2,23	0,36	1,90	0,37
30	Самарская	П-35/100	205	82	48	29,20	56,80	6,50	25,20	6,73	3,08	6,30	0,83	4,24	0,78	1,84	0,23	1,03	0,14
31	Самарская	П-35/127	164	78	52	9,05	18,90	2,29	9,70	2,65	0,97	3,03	0,44	2,32	0,46	1,18	0,16	0,80	0,12

Окончание таблицы 2

32	Самарская	П-35/136	151	87	54	27,60	50,20	5,58	21,30	5,13	1,72	6,17	0,97	5,85	1,30	3,72	0,54	3,03	0,51
33	Самарская	П-35/53	28	72	74	17,70	37,10	4,98	22,30	6,49	1,66	8,42	1,24	7,20	1,58	4,28	0,59	3,24	0,51
34	Самарская	П-39/215	96	70	49	27,30	50,00	5,60	21,60	5,25	0,52	6,22	0,96	5,59	1,26	3,50	0,51	2,76	0,46
35	Самарская	П-39/245,5	376	180	82	29,70	52,00	5,53	20,30	4,96	0,43	5,00	0,67	3,51	0,68	1,62	0,21	1,00	0,14
36	Самарская	П-39/265	82	100	77	11,70	25,00	3,13	13,80	3,78	1,29	3,72	0,45	2,01	0,36	0,78	0,09	0,41	0,05
37	Самарская	П-39/266	691	320	79	43,90	94,50	10,90	45,00	12,10	3,22	3,50	1,42	6,83	11,20	2,73	0,33	1,44	0,18
38	Самарская	П-39/267	780	630	83	33,20	68,80	8,10	34,50	9,37	3,42	11,20	1,72	9,50	2,01	5,50	0,77	4,22	0,64
39	Самарская	П-39/274	60	74	71	10,50	22,40	2,77	11,80	3,36	0,83	3,90	0,53	2,73	0,52	1,30	0,17	0,82	0,12
40	Самарская	П-39/285	68	90	87	6,05	15,30	2,22	10,50	3,43	1,49	5,40	0,92	6,00	1,49	4,58	0,73	4,51	0,82
41	Самарская	П-39/288	62	100	80	0,78	3,10	0,74	6,18	3,25	0,35	4,78	0,77	4,75	1,14	3,35	0,52	3,00	0,52
42	Саргазинская	П-4/189,5	18	29	31	0,25	1,06	0,26	2,26	1,23	0,05	1,57	0,22	1,29	0,27	0,70	0,10	0,51	0,08
43	Саргазинская	П-4/400	486	150	72	0,55	1,60	0,28	1,76	0,66	0,07	0,91	0,13	0,74	0,16	0,42	0,06	0,30	0,05
44	Саргазинская	П-4/450	41	39	66	0,12	0,55	0,15	1,38	0,89	0,05	1,00	0,14	0,73	0,15	0,35	0,05	0,24	0,03
45	Саргазинская	П-4/490	12	33	50	0,39	1,42	0,29	2,10	1,00	0,42	1,61	0,27	1,70	0,41	1,23	0,20	1,18	0,21
46	Саргазинская	П-67/1077	18	42	66	0,96	3,17	0,60	3,99	1,83	0,54	3,32	0,60	4,03	1,04	3,35	0,57	3,72	0,68
47	Саргазинская	П-67/1100	36	42	68	0,47	1,85	0,43	3,47	1,89	0,19	2,79	0,43	2,52	0,54	1,48	0,22	1,20	0,19
48	Саргазинская	П-67/1138	629	160	66	1,72	4,50	0,72	3,80	1,33	0,73	1,96	0,31	1,88	0,43	1,21	0,18	1,02	0,17
49	Саргазинская	П-67/1173	57	62	70	0,54	1,96	0,43	3,28	1,65	0,18	2,75	0,43	2,69	0,61	1,75	0,27	1,52	0,27
50	Саргазинская	П-67/1190	44	50	70	0,96	2,99	0,54	3,42	1,36	0,20	1,90	0,28	1,58	0,34	0,88	0,13	0,65	0,10
51	Шеметовская	Вор-1	220	40	40	2,41	6,65	1,08	6,00	2,13	0,22	3,50	0,58	3,60	0,83	2,50	0,41	2,24	0,42
52	Шеметовская	Вор-2	300	15	50	3,47	9,82	1,51	8,02	2,95	0,21	4,60	0,73	4,63	1,13	3,33	0,52	3,02	0,53
53	Шеметовская	Вор-3/2	380	90	54	3,16	9,07	1,42	7,87	2,84	1,44	7,37	0,66	4,11	0,92	2,63	0,41	2,18	0,39
54	Шеметовская	Вор-4/1	220	60	57	3,18	9,18	1,44	7,98	2,98	0,56	4,50	0,70	4,43	1,03	2,96	0,46	2,63	0,45
55	Шеметовская	Вор-5	250	70	50	3,17	9,30	1,48	8,30	3,10	0,94	4,99	0,80	5,00	1,20	3,52	0,55	3,31	0,56
56	Шеметовская	Кд-6/1	220	170	50	3,63	10,70	1,80	10,00	3,85	0,12	5,80	0,92	5,61	1,30	3,81	0,57	3,32	0,55
57	Шеметовская	Кд-6/2	92	50	54	4,04	10,30	1,48	7,48	2,45	0,32	3,48	0,54	3,03	0,67	1,86	0,28	1,51	0,25
58	Шеметовская	Лин-1	220	70	50	3,43	10,10	1,62	9,00	3,30	0,11	5,31	0,88	5,50	1,32	4,02	0,62	3,77	0,63
59	Шеметовская	Лин-2	300	80	50	3,69	9,90	1,46	7,53	2,59	1,11	4,32	0,67	4,35	1,03	2,99	0,47	2,75	0,49
60	Шеметовская	Лин-3	280	90	50	4,07	11,50	1,87	10,00	3,62	1,30	5,90	0,96	6,00	1,41	4,27	0,64	3,90	0,64
61	Шеметовская	Лин-5	130	40	50	4,55	13,00	2,05	10,90	3,94	0,90	6,12	1,02	6,48	1,54	4,57	0,69	4,30	0,70
62	Шеметовская	Лин-6	167	60	50	4,02	11,50	1,89	10,00	3,58	0,80	5,30	0,83	4,93	1,14	3,22	0,48	2,73	0,45
63	Шеметовская	Лин-7	270	60	57	3,74	10,80	1,76	9,58	3,49	0,84	5,28	0,86	5,30	1,27	3,78	0,57	3,43	0,58
64	Шеметовская	Мг-8/1	430	90	57	2,77	8,03	1,31	7,22	2,57	1,05	4,21	0,65	4,22	0,99	2,81	0,46	2,70	0,47
65	Шеметовская	Мг-8/2	130	60	57	5,48	14,10	2,08	10,20	3,47	0,88	5,22	0,83	5,00	1,18	3,38	0,52	2,95	0,50
66	Шеметовская	Мг-9/1	260	90	64	2,22	6,92	1,29	7,72	3,10	0,15	4,70	0,76	4,80	1,17	3,48	0,54	3,30	0,56
67	Шеметовская	Мг-9/2	92	60	67	12,60	30,00	4,07	19,80	6,06	1,89	8,91	1,37	8,30	1,88	5,47	0,82	4,60	0,78

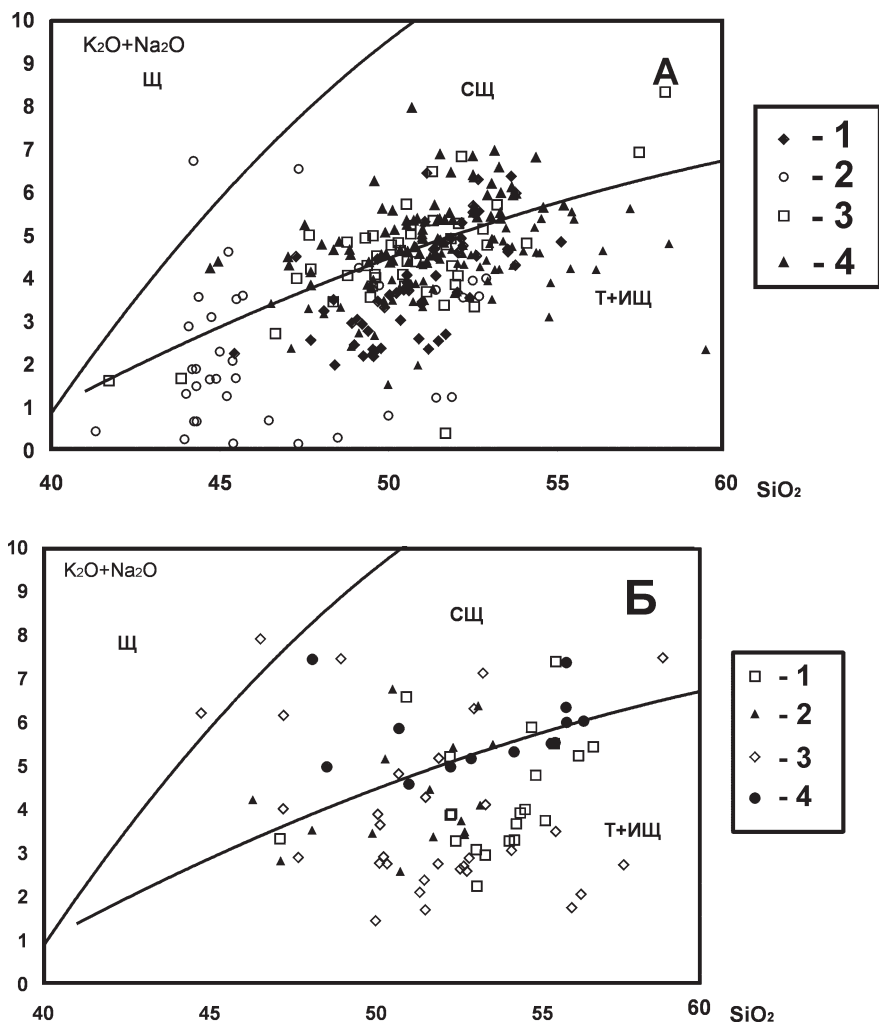


Рис. 3.

Диаграммы $\text{SiO}_2 - (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ для ордовикско-нижнесилурийских базальтов Южного Урала

Условные обозначения. А: 1 — шеметовская, 2 — маячная, 3 — поляковская, 4 — булатовская свиты; Б: 1 — кособродская, 2 — самарская, 3 — саргазинская, 4 — увельская свиты

тальной окраины Калифорнийского типа [Кузьмин, 1985]. Точки составов базальтов кособродской толщи попадают в поле вулканитов ОД. Саргазинская толща включает в себя породы двух контрастных типов: 1) низкотитанистые базальты попадают в область перекрытия полей ОД и СОХ, тяготея к первому из них; 2) относительно высокотитанистые толеитовые базальты образуют самостоятельный ореол в пределах поля КР и траппов. Точки, характеризующие составы вулканогенных пород самарской свиты, в большинстве своем попадают в область перекрытия полей КР и СОХ, остальные — в крайнюю левую часть диаграммы с очень низкими значениями коэффициента глиноземистости.

в увельской свите — субщелочные базальты (рис. 5). В шеметовской и поляковской свитах примерно в равных количествах представлены обе указанные выше серии вулканогенных пород. Базальты известково-щелочной серии играют заметную роль в строении разрезов кособродской и саргазинской, причем в составе первой они преобладают.

Составы базальтов ордовика и нижнего силура Южного Урала расположились на диаграмме $\text{Al}'_2\text{O}_3 / (\text{MgO} + \text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3) - \text{TiO}_2$ следующим образом (рис. 6А, Б). Довольно компактное поле, обособленное от других, занимают вулканиты маячной свиты, по составу они ближе всего к пикробазальтам трапповой формации. Большая часть точек, характеризующих составы вулканогенных пород поляковской, шеметовской и булатовской свит, попадает в поле базальтов СОХ и объединенное поле базальтов КР, ОП и траппов. При этом в выборке поляковской свиты несколько анализов характеризуется одновременно высокой глиноземистостью и титанистостью. Подобный состав типичен для всей выборки базальтов увельской свиты. Фигуративные точки их анализов располагаются между средними составами базальтов латитовой серии и серии базальт — гавайит — муджерит рифтогенной континен-

Состав базальтов маячной свиты на диаграмме $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) - \text{TiO}_2$, также как и на предыдущей, близок к полю пикробазальтов трапповой формации (рис. 7). Породы шеметовской и булатовской толщ попадают в большинстве случаев в поля СОХ и ОД, а самые верхи последней из них — в поле ОД. Фигуративные точки базальтов поляковской свиты равномерно распределены по всей площади диаграммы. Вулканиты основного состава самарской толщ тяготеют к полю КР и области его перекрытия с полем ОД. Все анализы вулканитов увельской свиты, также как и на предыдущей диаграмме, попадают в поле базальтов эпиорогенных КР, кособродской — в поле базальтов ОД. Основные породы саргазинской толщ, так же как и на диаграмме $\text{TiO}_2 - \text{Al}'$, обнаруживают контрастность составов: низкотитанистые породы тяготеют к полю ОД, а относительно высокотитанистые — к полю КР.

На диаграмме $(\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3) - \text{Al}_2\text{O}_3$ (рис. 8А, Б), как и на большинстве других, четко обособляются составы базальтоидов маячной свиты. Ближе всего по составу они к пикробазальтам трапповой формации. Преобладающая часть анализов пород поляковской, шеметовской и булатовской толщ образует довольно компактное поле, в значительной

степени формирующееся вокруг средних составов базальтов СОХ, ОО, ОП, ОД. Все сказанное также справедливо и для пород самарской свиты, но при более значительных вариациях состава с явным уклоном к стандартным значениям КР. Точки составов базальтов увельской свиты компактно расположились рядом со стандартными составами континентальных рифтов и СОХ. Вариации глиноземистости базальтов кособродской толщи довольно значительны, но благодаря низкому содержанию железа, все они относятся к островодужным. Три изолированные группы фигуративных точек на рассматриваемой диаграмме образуют анализы пород саргазинской толщи. Большая часть их тяготеет к базальтам трапповой формации и океанических плит; вторая группа точек близка к составам пород серии марианит – бонинит ГЖ и ОД; третья группа точек, характеризующая высокожелезистые и высокоглиноземистые составы с прямой корреляцией $FeO + Fe_2O_3$ и Al_2O_3 , нетипична для базальтов современных ГДО.

В ордовикско-нижнесилурийских базальтах восточного склона Южного Урала по содержанию никеля и хрома отмечается четкое разделение (рис. 9). Низкие концентрации хрома (10–80 г/т) и никеля (20–80 г/т), характерные для толеитовых базальтов островных дуг, зафиксированы в породах кособродской и большей части саргазинской толщ. Содержания Cr и Ni в вулканитах основного состава

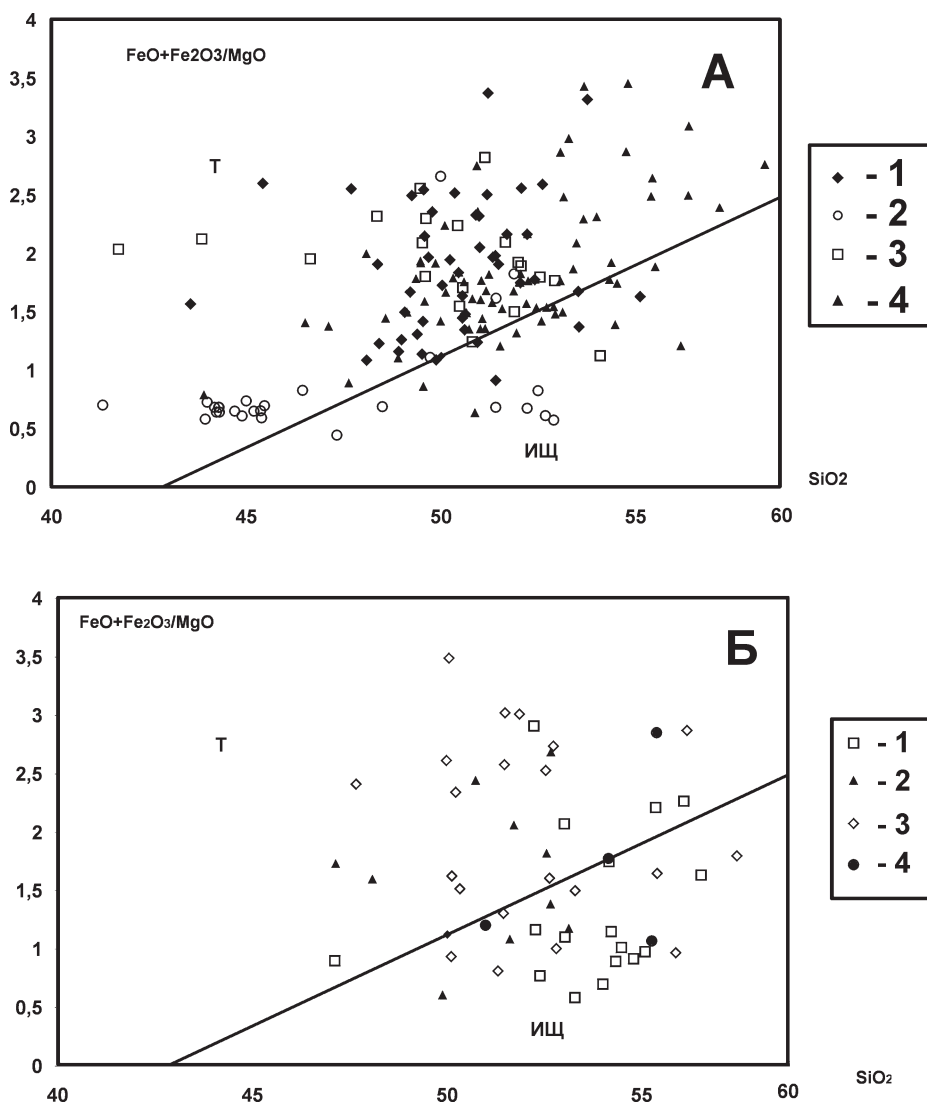


Рис. 4. Диаграммы $SiO_2 - (FeO + Fe_2O_3)/MgO$ для ордовикско-нижнесилурийских базальтов Южного Урала

Условные обозначения.
 А: 1 — шеметовская, 2 — маянская, 3 — поляковская, 4 — булатовская свиты; Б: 1 — кособродская, 2 — самарская, 3 — саргазинская, 4 — увельская свиты

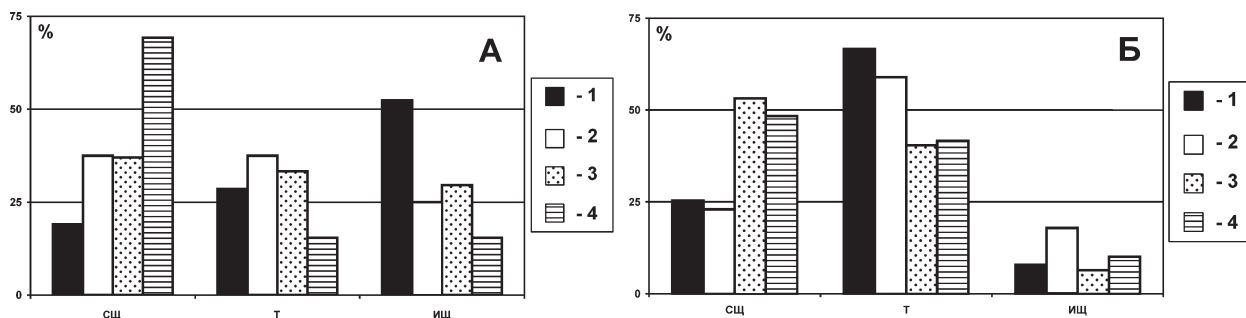


Рис. 5. Статистические гистограммы распределения базальтов различных петрогенетических серий в составе свит
Условные обозначения. А: 1 — кособродская, 2 — самарская, 3 — саргазинская, 4 — увельская; Б: 1 — булатовская, 2 — маянская, 3 — поляковская, 4 — шеметовская

шеметовской, поляковской и булатовской толщ соответствует таковым в базальтах СОХ. Для эффузивных образований самарской толщи отмечается большой разброс значений Sr и Ni с четко выраженной прямой зависимостью между ними. Повышенные содержания тугоплавких элементов, соответствующие пикритобазальтам траппов, установлены

для пород маячной свиты. Единичные анализы, имеющиеся для базальтов увельской свиты, не позволяют говорить о какой-либо закономерности в их распределении.

Обратимся к рассмотрению редкоземельных элементов. В изученных базальтах наблюдаются довольно широкие вариации содержаний редко-

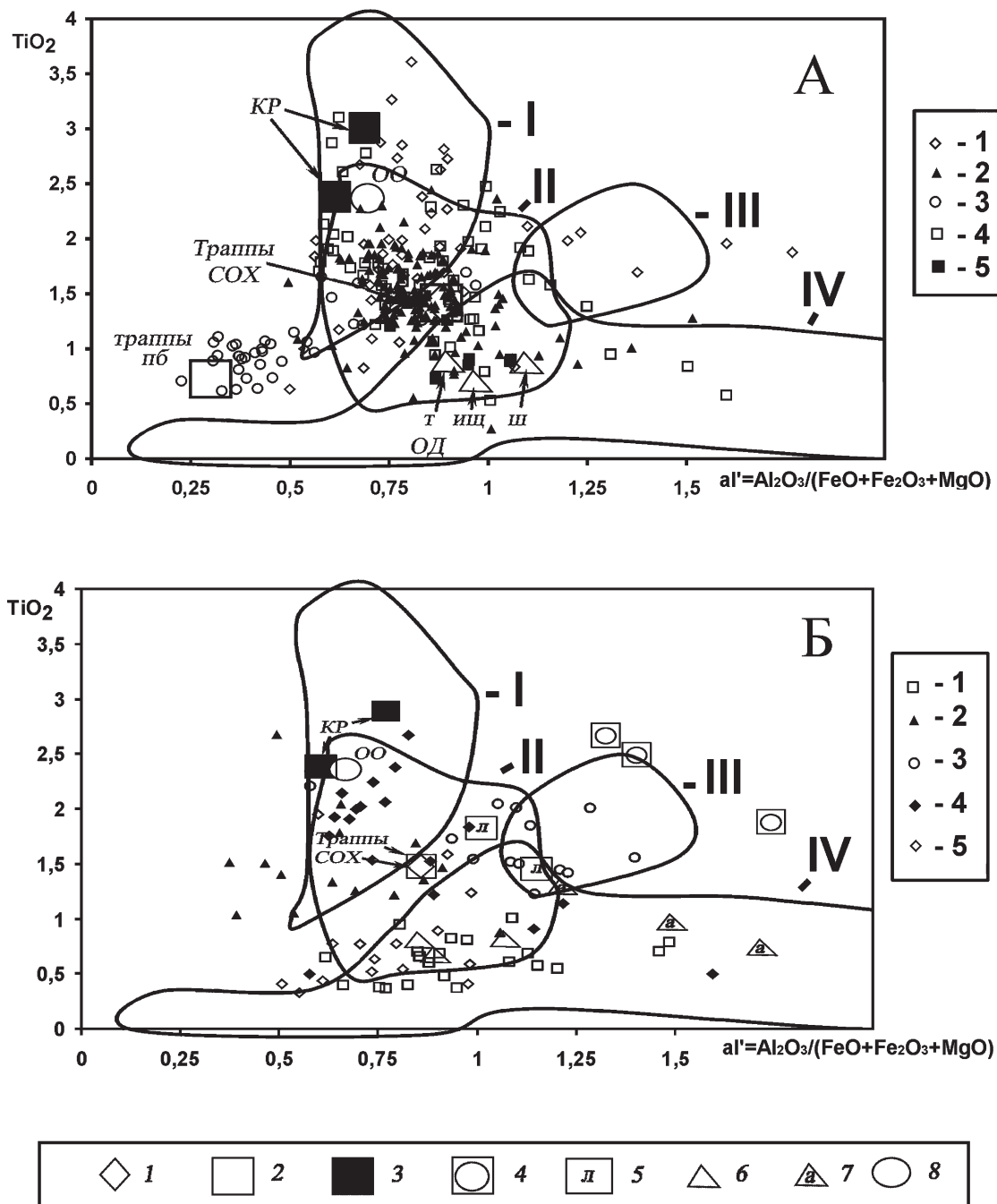


Рис. 6. Диаграмма $al' - TiO_2$ для ордовикско-нижнесилурийских базальтов Южного Урала

Условные обозначения. 1–8 (внизу) — средние составы базальтов, по [Кузьмин, 1985; Петрология ..., 1987; Фролова, Бурикова, 1997]: 1 — срединно-океанических хребтов (СОХ), 2 — траппов (пб — пикробазальты), 3 — эпиплатформенных континентальных рифтов (КР), 4, 5 — эпирогенных континентальных рифтов (4 — Рио-Гранде, 5 — латитовая серия Провинции Бассейнов и Хребтов), 6 — островных дуг (ОД, т — толеиты, ищ — известково-щелочные, ш — шшонитовая серия), 7 — активных окраин андийского типа, 8 — океанических островов (ОО, т — толеиты, щ — щелочные). Римскими цифрами показаны поля формаций: I — континентальных рифтов; II — срединно-океанических хребтов; III — континентальных рифтов (эпирогенные); IV — островных дуг. Свиты: А: 1 — поляковская, 2 — шеметовская, 3 — маячная, 4 — булатовская, 5 — верхи булатовской толщи; Б: 1 — кособродская, 2 — самарская, 3 — увельская, 4 — толеитовые базальты саргазинской толщи, 5 — низкотитанистые базальты саргазинской толщи

земельных элементов (РЗЭ) и спектров их распределения (табл. 2, рис. 10). Из всей выборки выделяются базальты увельской свиты: для них характерна высокая степень дифференциации концентраций легких и тяжелых РЗЭ. Нормированные к хондриту содержания лантана (La_N) составляют 70–200 ед., а значение Lu_N почти во всех пробах около 10 ед. Сходный характер распределения РЗЭ

наблюдается в вулканитах самарской толщи, но при более низких содержаниях лантаноидов и более значительных их вариациях: $La_N = 20–100$ ед., $Lu_N = 1–20$ ед.

В базальтоидах маячной свиты преобладает тип распределения РЗЭ, близкий к N–MORB с постоянной отрицательной аномалией европия. Кроме того, в двух пробах, характеризующихся

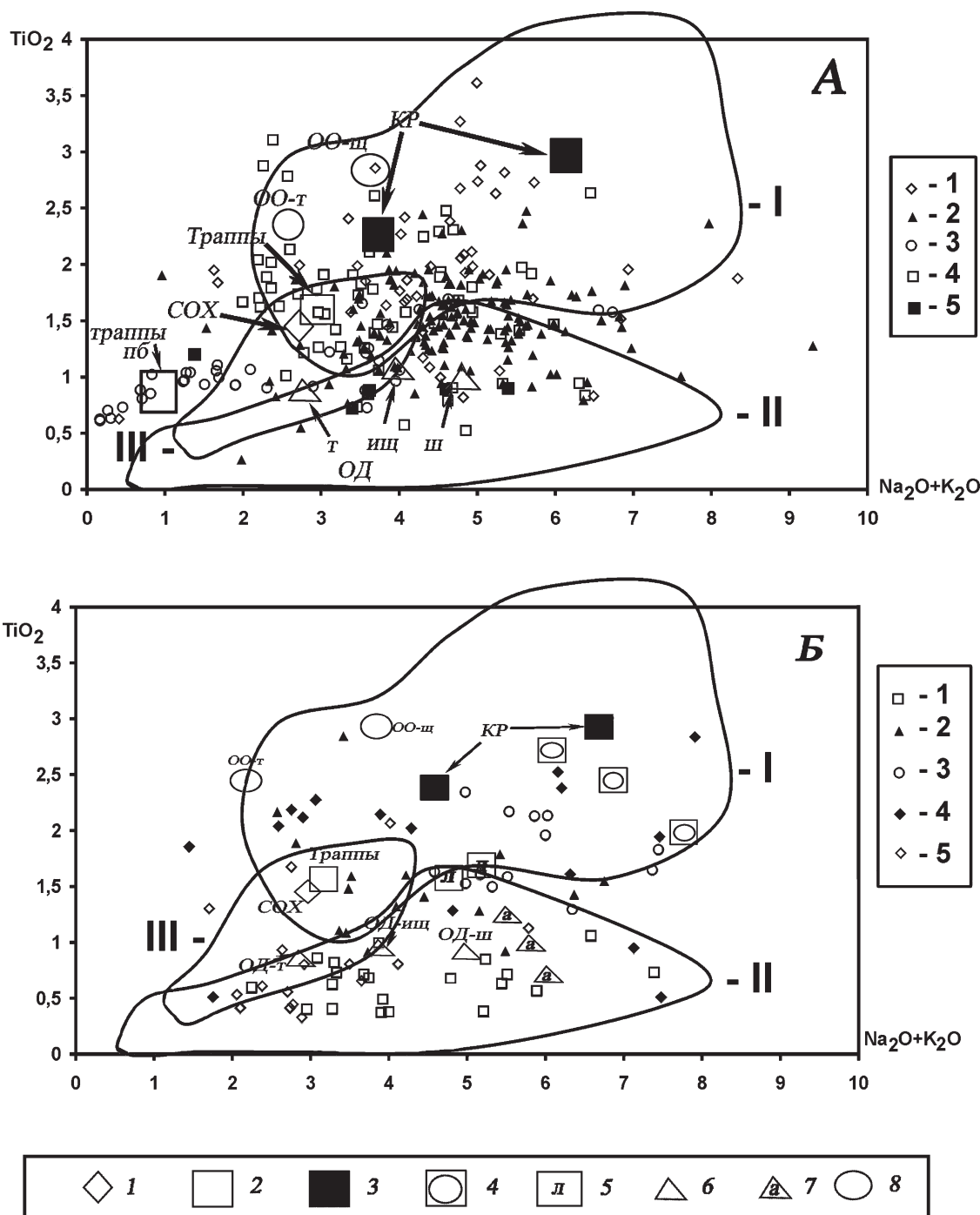


Рис. 7. Диаграмма $(Na_2O + K_2O) - TiO_2$ для ордовикско-нижнесилурийских базальтов Южного Урала

Условные обозначения. 1–8 (внизу) и аббревиатуры — см. рис. 6. Римскими цифрами показаны поля формаций: I — континентальных рифтов; II — островных дуг; III — срединно-океанических хребтов (СОХ). Свиты: А: 1 — поляковская, 2 — шеметовская, 3 — маячная, 4 — булатовская, 5 — верхи булатовской толщи; Б: 1 — кособродская, 2 — самарская, 3 — увельская, 4 — толеитовые базальты саргазинской толщи, 5 — низкотитанистые базальты саргазинской толщи

аномально высокими содержаниями суммарного железа ($> 20\%$) и окиси алюминия ($> 20\%$), концентрации РЗЭ резко повышены ($La_N = 40-50$ ед., $Lu_N = 20-30$ ед.). Базальты саргазинской свиты отличаются минимальными содержаниями РЗЭ из всех изученных. Для них характерен тип N-MORB при $La_N = 0,3-5$ ед., $Lu_N = 1-20$ ед. Исключение составляют субщелочные и щелочные базальты низов разреза, в которых распределение РЗЭ в точности повторяет таковое увельской свиты (рис. 10 Е, 3).

Довольно выдержанным составом редких земель характеризуются базальты шеметовской толщи. Практически во всех пробах вариации Lu_N составляют $10-20$ ед., а $La_N = 8-15$ ед., то есть вид графиков соответствует промежуточному типу между N- и E-MORB (тип T-MORB), значительно менее развит тип E-MORB. Для большинства проб характерно наличие отрицательной аномалии европия. Близкий характер распределения РЗЭ отмечен и в большинстве образцов базальтов поляковской

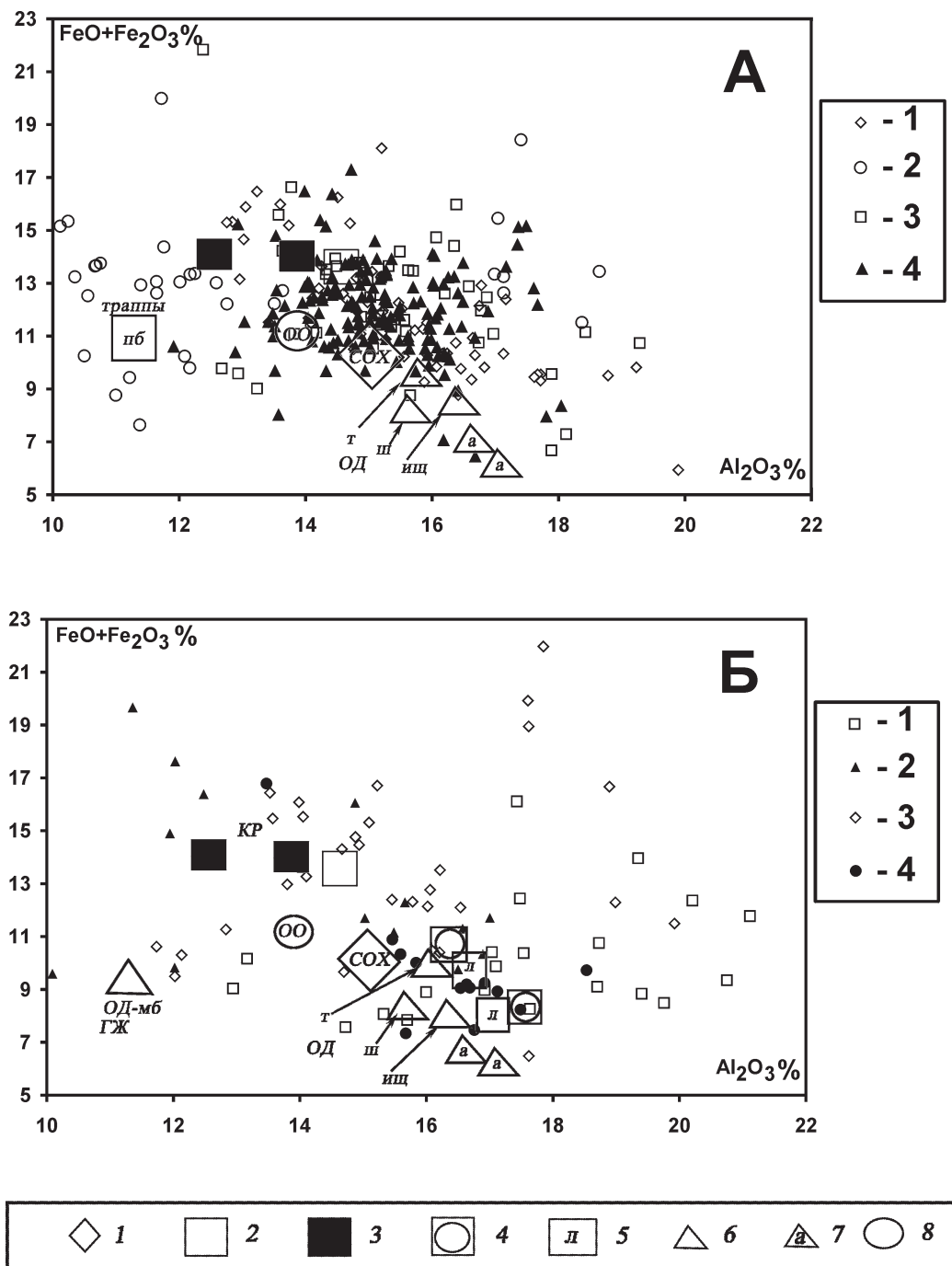


Рис. 8. Диаграмма $Al_2O_3 - (FeO + Fe_2O_3)$ для ордовикско-нижнесилурийских базальтов Южного Урала

Условные обозначения. 1–8 (внизу) и аббревиатуры — см. рис. 6. ГЖ — глубоководные желоба. Свиты: А: 1 — булатовская, 2 — маячная, 3 — поляковская, 4 — шеметовская; Б: 1 — кособродская, 2 — самарская, 3 — саргазинская, 4 — увельская

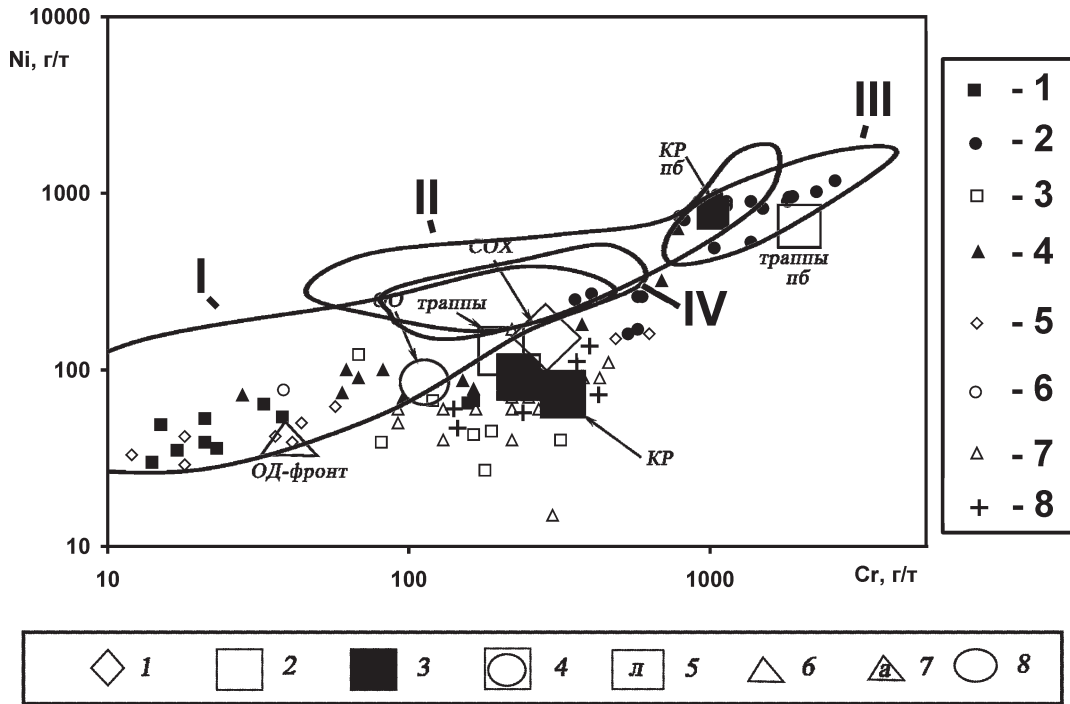


Рис. 9. Диаграмма Ni – Sr для ордовикско-нижнесилурийских базальтов восточного склона Южного Урала

Условные обозначения. 1–8 (внизу) — см. рис. 6. Свиты и толщи (справа): 1 — кособродская, 2 — маячная, 3 — поляковская, 4 — самарская, 5 — саргазинская, 6 — увельская, 7 — шеметовская, 8 — булатовская. Римскими цифрами указаны поля: I — островных дуг; II — срединно-океанических хребтов; III — островные дуги и глубоководные желоба (марианиты и бониниты); IV — глубоководные желоба

свиты. Вместе с тем в ее составе присутствуют субщелочные базальты с иным спектром РЗЭ: $La_N > Lu_N$ ($La_N = 50–80$ ед., $Lu_N = 10$ ед.).

Базальты булатовской толщи охарактеризованы всего 4 анализами. В трех пробах легкие элементы преобладают над тяжелыми при $La_N = 15–30$ ед., $Lu_N = 2–10$ ед., в одной пробе зафиксировано распределение РЗЭ, близкое к типу N–MORB. В базальтах кособродской толщи проявлено два типа распределения РЗЭ: 1) близкий к N–MORB ($La_N = 2–10$ ед., $Lu_N = 10–20$ ед.) и 2) $La_N > Lu_N$ ($La_N = 5–30$ ед., $Lu_N = 2–6$ ед.). В андезито-базальтах содержание РЗЭ резко возрастает, легкая группа лантаноидов преобладает над тяжелой.

Учитывая зависимость, выявленную Н.В. Семеновым [1990], между составом РЗЭ в базальтовых выплавках и глубиной их возникновения, заключающуюся в постепенном уменьшении отношения элементов легкой группы (La, Ce, Pr, Nd) к тяжелой (Er, Tm, Yb, Lu) в процессе подъема магматического очага, рассматриваемые O–S₁ базальты можно выстроить в следующий ряд по мере убывания глубины их формирования (то есть раскрытия рифтовой системы): увельские, самарские, нижнесаргазинские, маячные, нижнеполяковские, булатовские, поляковские, шеметовские.

На диаграмме Zr – Ti (рис. 11) в поле островодужных попадают базальты кособродской толщи. Низкотитанистые вулканы саргазинской толщи группируются либо в поле ОД, либо СОХ и области

их пересечения, относительно высокотитанистые их разновидности ближе стоят к внутриплитным базальтам. К последним относятся и основные породы увельской, самарской, шеметовской толщ. Толеитовые и субщелочные базальты поляковской свиты группируются в области пересечения полей СОХ и внутриплитных базальтов.

В рассматриваемых базальтах по сравнению с вулканидами современных ГДО отмечаются повышенные содержания крупнокатионных литофильных элементов, а также значительная дисперсия их содержаний. На диаграмме Rb – Sr (рис. 12), на которой нанесены средние содержания рубидия и стронция в породах O–S₁ возраста, просматриваются основные тенденции, отмеченные нами ранее для других диаграмм. Примечательно, что в общем повторяется и тот ряд по глубинности выплавки базальтов, который получен из анализа графиков распределения РЗЭ.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Базальты увельской свиты на ряде диаграмм достаточно уверенно идентифицируются с вулканидами эпиорогенных континентальных рифтов. Геохимия редких земель также свидетельствует об их формировании в обстановке континентального рифтогенеза. Отличительной особенностью вулканидов увельской свиты, по сравнению с базальтами КР,

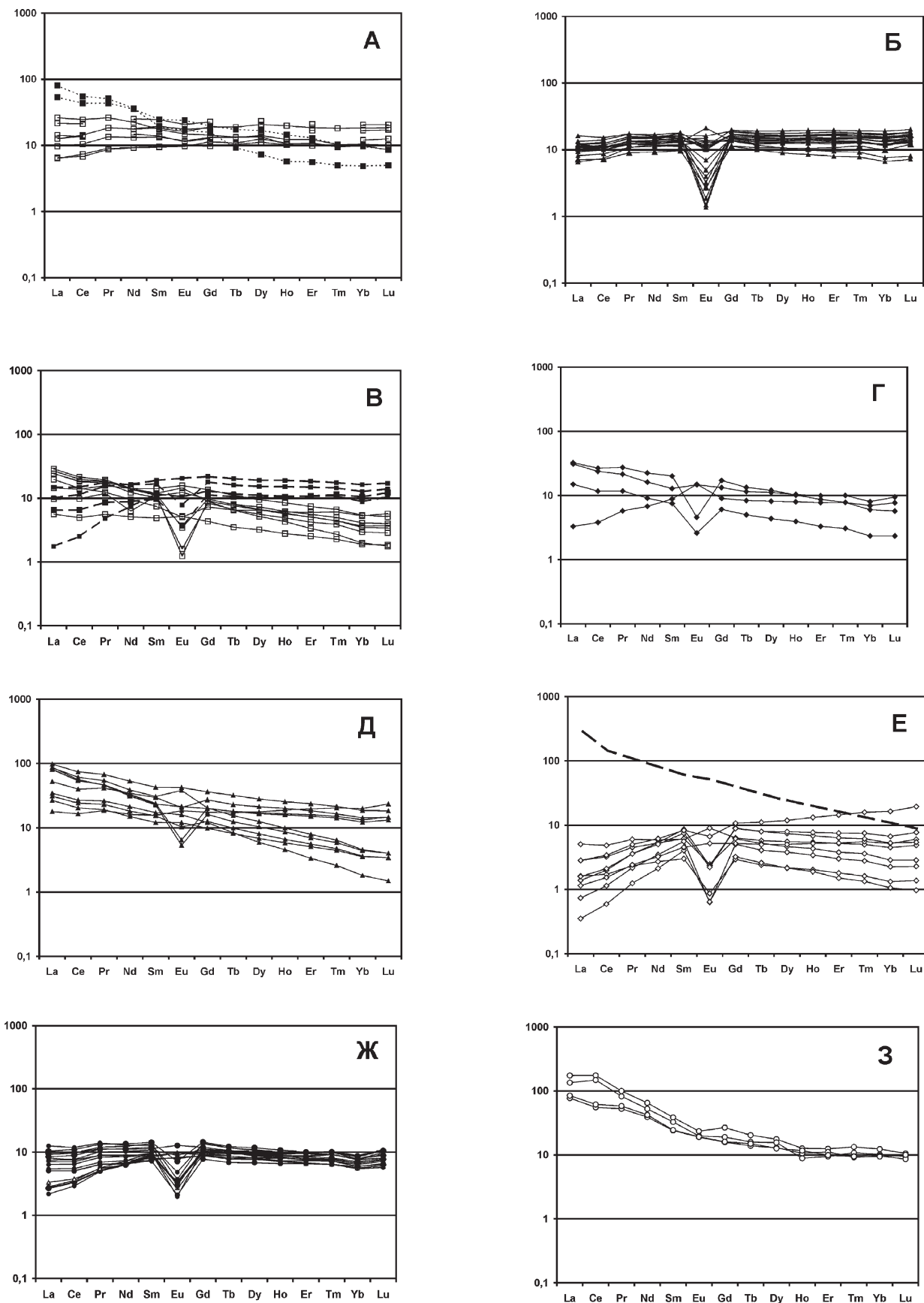


Рис. 10. Распределение редкоземельных элементов в ордовикско-нижнесилурийских базальтах Южного Урала, нормированных к хондриту

Примечание: А — поляковская, Б — шеметовская, В — кособродская, Г — булатовская, Д — самарская, Е — саргазинская, Ж — маячная, З — увельская свиты. Пунктирная линия соответствует составу щелочных базальтов низов саргазинской свиты

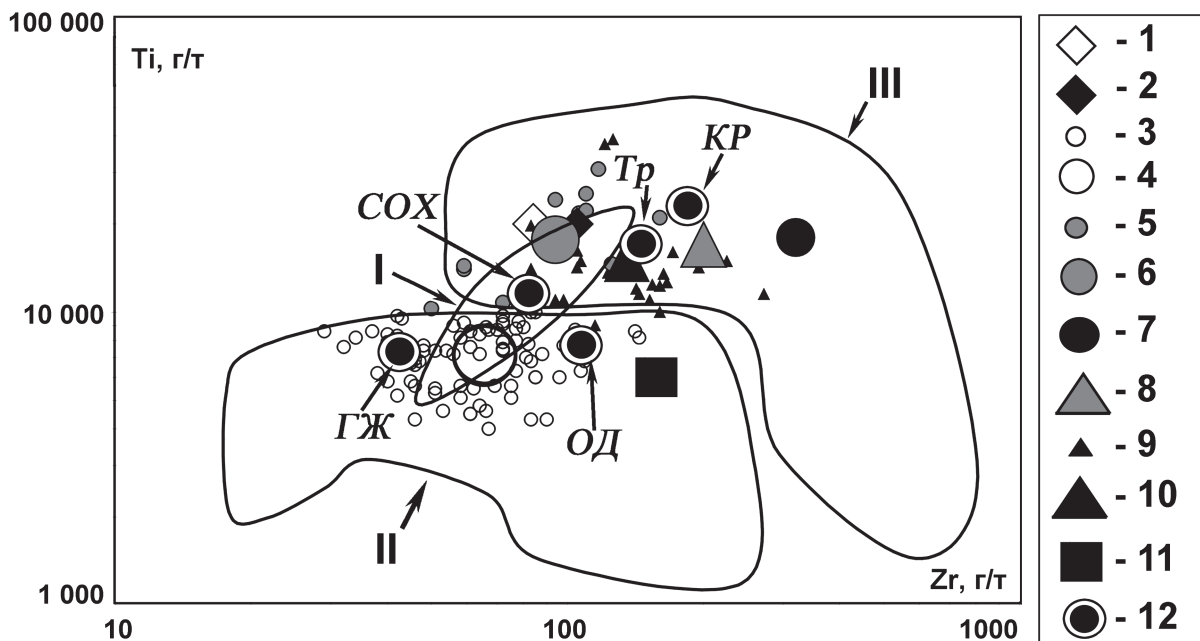


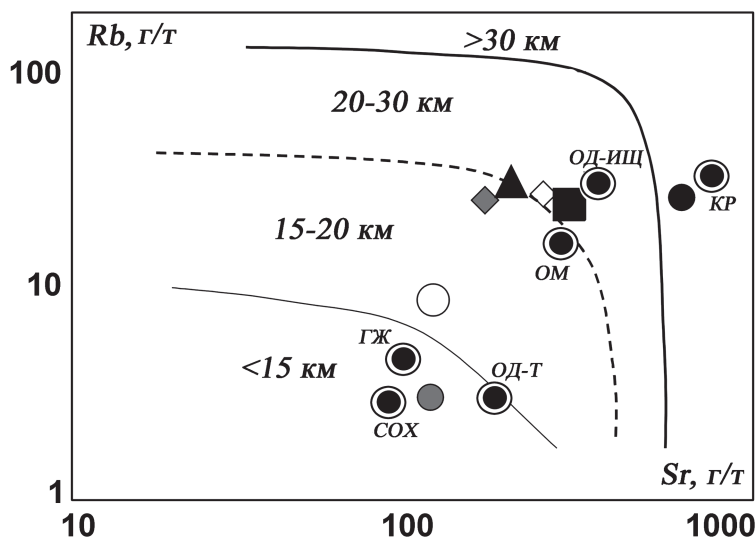
Рис. 11. Диаграмма Ti – Zr для базальтов O–S₁ Южного Урала

Условные обозначения: 1–11 — базальты Южного Урала; 1, 2 — поляковская свита (1 — среднее для толеитовых, 2 — среднее для субщелочных); 3–6 — саргазинская свита (3, 4 — низкотитанистые: 3 — частные анализы, 4 — среднее, 5, 6 — высокотитанистые: 5 — частные анализы, 6 — среднее); 7 — среднее для базальтов увельской свиты; 8 — среднее для базальтов шеметовской свиты; 9, 10 — самарская свита (9 — частые анализы, 10 — среднее); 11 — среднее для базальтов кособродской свиты; 12 — средние содержания для базальтов различных ГДО; поля составов базальтов СОХ (I), ОД (II) и внутриплитных базальтов (III), по [Интерпретация ..., 2001].

Примечание: 1, 2, 7 — по данным Д.Н. Салихова [2004]; 3–6, 9–11 — по данным В.И. Сначева с соавторами [Магматизм ..., 1990, 1994]; 12 — по данным Б.Г. Лутца [1980], М.И. Кузьмина [1985], [Вулканизм ..., 1990] и др.

Рис. 12. Диаграмма Rb – Sr для базальтов O–S₁ Южного Урала

Условные обозначения соответствуют рис. 11; стандартные линии — по [Вулканизм ..., 1990]



являются несколько пониженное содержание железа и повышенное — кремнезема.

Базальты шеметовской и булатовской толщ развиты в пределах одной структурно-формационной зоны и, в общем, характеризуются близким составом. Почти на всех диаграммах они обнаруживают близость с базальтами СОХ. Вместе с тем, в составе шеметовских вулканитов более сильно проявлены черты траппов и базитов КР. По распределению РЗЭ вулканиты шеметовской толщи довольно однородны: преобладает тип N–MORB. В базальтах булатовской толщи наряду с типом N–MORB, более развиты породы с преобладанием легких РЗЭ, что сближает их с базитами КР, траппов и ОО. Принимая во внимание более молодой возраст булатовской толщи, рассматриваемые базальты следует сопоставлять с вулканидами фронтальных частей островных дуг. Если это так, то петрогеохимия базальтов Арамилско-Сухтелинской зоны во времени закономерно изменялась

от траппов (и/или КР) низов шеметовской толщи к базальтам СОХ верхов шеметовской — низов булатовской толщ. В дальнейшем (верхи булатовской толщ), по мере раскрытия океанической структуры, появляются базальты с внутриплитными геохимическими характеристиками.

К рассмотренным выше толщам ближе всего по составу поляковские базальты. На большинстве диаграмм составы их тяготеют к базальтам СОХ, часто в равной степени проявлены черты толеитовых

базальтов КР и траппов. Очень незначительно проявлена островодужная тенденция. По распределению РЗЭ большая часть изученных базальтов соответствуют базальтам СОХ: поле составов охватывает весь спектр от N— до E—MORB. В меньшей части проб отмечается спектр РЗЭ, характерный для базальтов КР, что подтверждает петрохимические данные.

Вулканы маячной свиты на большинстве петрохимических диаграмм обнаруживают черты, присущие пикробазальтам траппов (и/или КР), реже — океанских островов. Состав РЗЭ соответствует типу N—MORB, в образцах, одновременно обогащенных железом и алюминием, содержание РЗЭ резко повышено при $La_N > Lu_N$. Геологические данные свидетельствуют о формировании вулканогенных пород свиты в континентальных (мелководных) условиях, что позволяет довольно уверенно сопоставлять их с траппами.

Петрохимические особенности базальтов самарской толщи обнаруживают черты больше траппоидного (и/или КР) магматизма, чем океанического. Геохимия редкоземельных элементов явно указывает на принадлежность их скорее всего к обстановке континентального рифтогенеза или траппам.

Базальты кособродской толщи по большинству петрохимических параметров относятся к островодужным. По распределению в них РЗЭ выделяются два типа пород: 1) $La_N > Lu_N$ при низких содержаниях РЗЭ и 2) N—MORB. Первый тип характерен для известково-щелочной серии ОД, а второй для БСОХ и толеитов ОД. В рассматриваемых базальтах не наблюдается четких различий в распределении РЗЭ между породами различных серий.

Наиболее разнообразна петрохимия базальтов саргазинской толщи. Здесь можно выделить две группы составов пород. Для первой (относительно высокотитанистой) свойственны черты базальтов СОХ — КР — траппов — ОО; для второй — ОД — ГЖ. По соотношению суммарного FeO и Al_2O_3 базальты второй группы обнаруживают близость к серии марианит—бонинит ОД — ГЖ. Кроме того, на упомянутой диаграмме выделяется третья группа пород с аномально высокими содержаниями алюминия и железа. В то же время, распределение РЗЭ в породах саргазинской свиты однозначно и соответствует типу N—MORB.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Как было показано с начала 70-х годов [Голдин, Пучков, 1978; Puchkov, 2002], на всем западном склоне Урала, от Самарской зоны до Байдарцаккой, широко развиты преимущественно раннеордовикские рифтовые формации («грабеновые комплексы»). Эти образования представлены терригенными отложениями переменной мощности, среди которых

отмечены вулканы (преимущественно субщелочные базальтоиды). Вверх по разрезу они переходят в батиальные фации с возрастом в интервале ордовик — ранний карбон. Было показано, что к востоку грабеновые комплексы сменяются разновозрастными или чаще несколько более молодыми яшмово-базальтовыми толщами типа поляковской, сугралинской, шеметовской и других свит, отвечающими началу спредингового процесса и образования океанической коры. На востоке Урала отмечались и грабеновые ордовикские фации [Ключина, 1985], тяготеющие преимущественно к Восточно-Уральской мегазоне, что связано с развитием здесь реликтов протерозойской коры, хотя и более молодой, судя по изотопным данным [Горожанин, 1998; Шатагин и др., 1998]. Тем не менее, в последнее время появились утверждения об отсутствии ордовикских рифтовых комплексов на востоке Урала [Самыгин, Руженцев, 2003; Руженцев, Самыгин, 2004].

Проведенное нами изучение петрогеохимических особенностей базальтов восточных зон Урала позволило, с одной стороны, показать ошибочность этого утверждения, а с другой — уточнить уже высказанные ранее предположения. В частности, выяснилось, что зачастую в одну свиту выделяются вулканы разного геодинамического характера.

В Магнитогорской мегазоне наиболее ранние проявления вулканизма связаны с континентальным рифтогенезом и представлены субщелочными и траппоидными вулканами поляковской (на западе) и шеметовской (на востоке) толщ. В дальнейшем субщелочной характер эффузивов сменился толеитовым, приближаясь по составу к типу N—MORB (большая часть базальтов поляковской, шеметовской, частично булатовской толщ). В составе базальтов булатовской толщи отмечены также и внутривулканические океанические разновидности. Этап сжатия, начавшийся здесь в позднем эмсе, привел к формированию зоны субдукции с восточным падением и смене океанических базальтов островодужными. Большая часть ордовикских базальтов была поглощена зоной субдукции; базальты поляковской свиты сохранились фрагментарно лишь в крайней западной части Магнитогорской мегазоны в виде блоков среди серпентинитового меланжа. Океанические базальты восточного ее фланга (шеметовская толща) в коллизионный этап были шарьированы в восточном направлении на западный край Восточно-Уральского поднятия.

Вулканы, развитые в пределах Восточно-Уральского поднятия, подтверждают представление о наличии под ними континентального основания и могут рассматриваться как элементы ордовикских грабеновых комплексов. В маячной свите отмечены маломощные пикробазальты трапповой формации, в более северных участках (самарская толща) — незначительные по мощности субщелочные и толеитовые вулканы. На Зауральском поднятии,

расположенном восточнее Восточно-Уральского, в нижнем — среднем ордовике происходило излияние щелочных и субщелочных базальтов (увельская свита). Присутствие в пределах этого микроконтинента именно ордовикских рифтовых комплексов достаточно красноречиво. Конечно, принимая во внимание причудливый характер дрейфа континентальных блоков, вряд ли можно быть уверенным, что Восточно-Уральский микроконтинент отделился именно от той части Балтики, напротив которой сейчас находится, однако он принадлежит западно-гондванской группе микроконтинентов (типа армориканской группы) и резко отличается от восточно-гондванских, в которые входят казахстанские и более восточные, характеризующиеся вендским возрастом залегающих на них грабенных комплексов. Показательна эволюция состава вулканитов саргазинской толщи, также развитой в пределах Восточно-Уральской мегазоны, хотя возможно — в аллохтонном залегании. Инициальные субщелочные базальты континентальной стадии здесь последовательно и довольно быстро сменяются вначале относительно высокотитанистыми толеитами, а, затем мощной толщей низкотитанистых толеитов (собственно саргазинская толща) фронтальной части островной дуги, что знаменует смену режима растяжения сжатием на рубеже среднего и верхнего ордовика. Тем самым подтверждаются представления [Язева, Бочкарев, 1995] о развитии здесь реликтов силурийской островной дуги и уточняется время ее заложения (ордовик?). Кособродская толща (S_{1-2}) представлена уже толеитами и известково-щелочными базальтами и андезито-базальтами островодужного этапа развития.

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы №7 ОНЗ РАН «Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского складчатого пояса — от палеоокеана к континенту» (Проект №9, «Уралиды: эволюция литосферы от Палеоуральского океана к Уральскому орогену и структурные связи с Центрально-Азиатским складчатым поясом») и Программы № 10 ОНЗ РАН «Взаимоотношения Центрально-Азиатского и Урало-Тиманского подвижных поясов на основных этапах их развития».

Литература:

- Анцыгин Н.Я.** Раннеордовикские трилобиты из разреза горы Маячной в Брединском районе // Докембрий и нижний палеозой Урала. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1978. С. 30–38.
- Вертикальная аккреция земной коры. Факторы и механизмы / *Отв. ред. М.Г. Леонов*. М.: Наука, 2002. 462 с.
- Вещественный состав третьего слоя океанической коры Северной Атлантики (40–51° с.ш.) / *С.А. Силантьев, Б.А. Базылев, К.Д. Клитгорд и др.* // Геохимия. 1992. № 12. С. 1415–1435.
- Вулканизм Южного Урала / *И.Б. Серавкин, А.М. Косарев, Д.Н. Салихов и др.* М.: Наука, 1990. 197 с.
- Геология дна Филиппинского моря / *Под ред. А.В. Пейве*. М.: Наука, 1980. 262 с.
- Голдин Б.А., Пучков В.Н.** Раннепалеозойский (рифтовый) вулканизм западного склона Урала // Докембрий и нижний палеозой Урала. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1978. С. 63–71.
- Горожанин В. М.** Первичный изотопный состав стронция в магматических комплексах Южного Урала // Магматизм и геодинамика. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 1998. С. 98–108.
- Знаменский С.Е.** Позднеордовикско-раннесилурийский вулcano-интрузивный комплекс северной части Магнитогорского мегасинклинория и связанное с ним оруденение (Южный Урал): Препринт. Уфа, 1994. 20 с.
- Интерпретация геохимических данных / *Под ред. Е.В. Склярлова*. М.: Интернет Инжиниринг, 2001. 288 с.
- Клюжина М.Л.** Палеогеография Урала в ордовикском периоде. М.: Наука, 1985. 189 с.
- Кориневский В.Г.** Новые данные по стратиграфии и вулканизму позднего ордовика Южного Урала // Доордовикская история Урала. Свердловск: УНЦ РАН СССР, 1980. С. 54–59.
- Кузьмин М.И.** Геохимия магматических пород фанерозойских подвижных поясов. Новосибирск, 1985. 198 с.
- Лазарев М.И.** К стратиграфии ордовикских вулканогенно-осадочных образований Зауральского поднятия // Стратиграфия палеозоя Южного Урала / БФАН СССР. Уфа, 1977. С. 3–8.
- Лутц Б.Г.** Геохимия океанического и континентального магматизма. М.: Недра, 1980. 247 с.
- Магматизм Восточно-Уральского пояса Южного Урала / *В.И. Сначев, Е.П. Шулькин, В.П. Муркин, Н.С. Кузнецов* / БНЦ УрО РАН СССР. Уфа, 1990. 179 с.
- Магматизм и металлогения северной части Восточно-Уральской рифтовой системы / *В.И. Сначев, Н.С. Кузнецов, С.Г. Ковалев, П.И. Рачев*: Препринт. Уфа, ИГ УНЦ РАН. 1994. 25 с.
- Магматические горные породы. Классификация, номенклатура, петрография / *Под ред. О.А. Богатикова*. М.: Наука, 1983. Ч. 1. 366 с.
- Магматические горные породы. Основные породы / *Под ред. Е.В. Шаркова*. М.: Наука, 1985. 488 с.
- Мамаев Н.Ф.** Геологическое строение и история развития восточного склона Южного Урала. Свердловск: УрО АН СССР, 1965. 169 с. (Труды / ИГ; Вып. 73).
- Маслов В.А., Артошкова О.В.** Стратиграфия палеозойских образований Учалинского района Башкирии / ИГ УНЦ РАН. Уфа, 2000. 140 с.
- Первые результаты ревизии стратиграфии поляковской свиты по конодонтам / *К.С. Иванов, В.Н. Пучков, В.А. Наседкина, И.А. Пелевин* // Ежегодник—1988 / ИГГ УрО РАН. Свердловск, 1989. С. 12–13.
- Петрология и геохимия островных дуг и окраинных морей / *Отв. ред. О.А. Богатиков*. М.: Наука, 1987. 336 с.
- Петрохимия магматических формаций: Справочное пособие / *Д.М. Орлов, Г.Н. Липнер, М.П. Орлова, Л.В. Смелова*. Л.: Недра, 1991. 299 с.
- Происхождение вулканических серий островных дуг / *Т.И. Фролова, И.А. Бурикова, А.В. Гуцин и др.* М.: Недра, 1985. 275 с.

Протерозойские цирконы на Восточном склоне Урала / *А.А. Краснобаев, В.А. Давыдов, Г.П. Кузнецов, Н.В. Чередниченко* // ДАН. 1997. Т. 355, № 2. С. 246–249.

Пучков В.Н. Палеогеодинамика Южного и Среднего Урала. Уфа, 2000. 145 с.

Руженцев С.В., Самыгин С.Г. Структура и тектоническое развитие области сочленения Восточно-Европейской платформы и Южного Урала // Геотектоника. 2004. № 4. С. 20–44.

Салихов Д.Н. Составы базальтов кембрия, ордовика и раннего силура на Южном Урале // Геологический сборник № 4 / ИГ УНЦ РАН. Уфа, 2004. С. 106–122.

Самыгин С.Г., Руженцев В.С. Уральский палеоокеан: модель унаследованного развития // Докл. РАН. 2003. Т. 392, № 2. С. 226–229.

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.

Сначев В.И., Мавринская Т.М. Некоторые проблемы стратиграфии Полетаевской площади // Ежегодник—1994 / ИГ УНЦ РАН. Уфа, 1995. С. 33–34.

Строение зоны разлома Зеленого мыса: Центральная Атлантика / *Ю.М. Пушаровский, А.А. Пейве, Ю.Н. Разницын и др.* М.: Наука, 1989. 199 с.

Тевелев А.В., Кошелева И.А. Геологическое строение и история развития Южного Урала (Восточно-Уральское поднятие и Зауралье). М.: Изд-во МГУ, 2002. 123 с.

Тектоника Урала: Объяснительная записка к тектонической карте М 1:1 000 000 / *А.В. Пейве, С.Н. Иванов, В.М. Нечеухин и др.* М.: Наука, 1977. 120 с.

Альмухамедов А.И., Жото Т., Матвеев В.В. и др. Толеитовые базальты Красного моря // Геохимия магматических пород океана и зон сочленения океан – континент. Новосибирск: Наука, 1984. с.41–59.

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

Шатагин К.Н., Астраханцев О.В., Дегтярев К.Е. Sr–Nd изотопная систематика позднепалеозойских гранитоидов Южного Урала: предварительные данные // XV Симпозиум по геохимии изотопов им. акад. А.П. Виноградова. М.: ГЕОХИ, 1998. С. 328.

Язева Р. Г., Бочкарев В. В. Силурийская островная дуга Урала: структура, развитие, геодинамика // Геотектоника. 1995. № 6. С. 32–44.

Puchkov V. Paleozoic evolution of the East European continental margin involved into the Urals // Mountain Building in the Uralides: Pangea to the Present / Edited by *D. Brown, C. Juhlin, and V. Puchkov.* AGU Geophysical Monograph Series. V. 132. 2002. P. 9–32.

Spadea P., Antonio M.D., Kosarev A. et al. Arc-Continent Collision in the Southern Urals: Petrogenetic Aspects of the Forearc-Arc Complex // American Geophysical Union. Washington, DC, 2002, P. 101–134.