

## ВУЛКАНИЗМ ПОЗДНЕЭМССКОГО ВОЗРАСТА ДОМБАРОВСКОЙ ЗОНЫ ЗАДУГОВОГО СПРЕДИНГА: ПЕТРОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ И ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

Проявления вулканизма позднеэмского возраста Домбаровского рудного района на первый взгляд имеют много общего с колчеданосными комплексами Западно-Магнитогорской зоны. Особенно это сходство очевидно при анализе фациального состава Киембаевского и Акжарского вулканических комплексов, в составе которых преобладают пиллоу-базальты, а подчиненное значение имеют кремнекислые породы. Примечательна также сопоставимость возраста этих комплексов с верхнеэмской баймак-бурибаевской свитой Таналыкского поднятия Западно-Магнитогорской зоны (рис. 1) [Стратиграфия и корреляция ..., 1993]. Работами М.В. Рыкуса [1992] и И.Б. Серавкина [Вулканизм ..., 1992] показано сходство толеитовых базальтов Киембаевского и Акжарского вулканических комплексов с базальтами СОХ и траппоидами платформ.

В настоящее время Домбаровская зона интерпретируется как древний задуговый бассейн позднеэмского времени [Вулканизм ..., 1992; Зайков и др., 2001; Зайков, 2006; Серавкин, 2002, 2007], расположенный между Восточно-Мугоджарским микроконтинентом и Магнитогорской палеоостроводужной системой.

Задачей данной работы является анализ представительных геохимических материалов по вулканитам Киембаевского и Акжарского комплексов с целью выявления геохимической специализации вулканогенных пород и уточнения геодинамических условий формирования.

В работе использованы авторские количественные аналитические материалы. Анализы выполнены в аналитическом центре ГЕОХИ, г. Москва (нейтронно-активационный метод); в Департаменте минералогии Музея Естественной истории в Англии (рентгено-флюоресцентный анализ); в химической лаборатории университета г. Аахен (Германия) (рентгено-флюоресцентный метод).

### Петролого-геохимическая характеристика Киембаевского и Акжарского вулканических комплексов позднеэмского возраста

Киембаевский базальтовый и Акжарский базальт-риолитовый комплексы являются возрастными аналогами баймак-бурибаевской свиты, расположенными на Восточном борту Магнитогорской мегазоны. В геологическом разрезе Киембаевские вулканиты подстилаются толщами тефрит-трахибазальтового Джаилганского комплекса [Косарев,

2007], что позволяет проанализировать эволюцию состава вулканитов во времени.

### Киембаевский вулканический комплекс

По материалам Я.А. Рихтера, М.А. Кригера [1969], П.В. Лядского [1982], М.В. Рыкуса [1992] и И.Б. Серавкина [Вулканизм ..., 1992], вулканиты Киембаевского комплекса представлены, главным образом, толеитовыми базальтами при слабом проявлении кремнекислого вулканизма. Среди базальтов преобладают афировые и микропорфировые, реже порфировые разновидности, образующие комплементарную породную ассоциацию. По данным П.В. Лядского [1982], в составе комплекса присутствуют железистые базальты с суммарной железистостью от 10 до 15%, с содержанием MgO от 4,4 до 6,7%; меланобазальты с суммарной железистостью от 7,7 до 11% и с MgO от 6,5 до 9,23%; лейкобазальты, включающие афировые и плагиофировые базальты, обладающие умеренной железистостью (8,6–12,35%), умеренной и повышенной магнезиальностью (MgO — 4,3–8,4%) и повышенной и умеренной глиноземистостью (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> — 15,3–23,2%). Все разновидности базальтов содержат высокие концентрации TiO<sub>2</sub>, варьирующие от 1,1 до 2,08%. В подчиненном количестве присутствуют низкотитанистые базальты с концентрациями TiO<sub>2</sub> ≤ 1% (рис. 2).

Отличия Киембаевских базальтов от высокотитанистых трахибазальтов Джаилганского комплекса [Косарев, 2007] заключаются в пониженных количествах всего ряда РЗЭ (рис. 3, 4), всех высокозарядных элементов (Nb, Zr, Y, Hf, Ti), радиоактивных элементов (U, Th), а также крупноионных элементов (K, Rb, Cs, Ba). Последние из названных групп элементов, благодаря своей высокой подвижности при вторичных процессах, подвержены перераспределению, в связи с чем в некоторых случаях их концентрации оказываются близки в породах Киембаевского и Джаилганского комплексов. В отличие от литофильных элементов, сидерофильные (Ni, Co, Cr, V) обладают в Киембаевских базальтах, по сравнению с нижележащими Джаилганскими трахибазальтами, повышенными концентрациями [Вулканизм ..., 1992].

Для базальтов Киембаевского комплекса типичны пониженные содержания K<sub>2</sub>O (0,04–0,24%) и повышенные концентрации Na<sub>2</sub>O (1,7–4,89%). По соотношениям Zr и Ti, Ti и Cr, Cr и Ni, Ni и Co базальты Киембаевского комплекса близки к то-

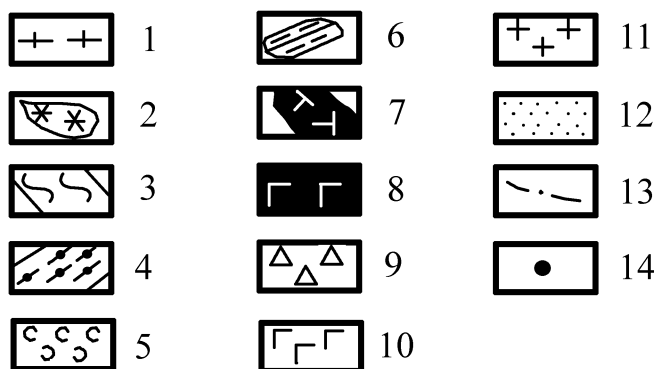
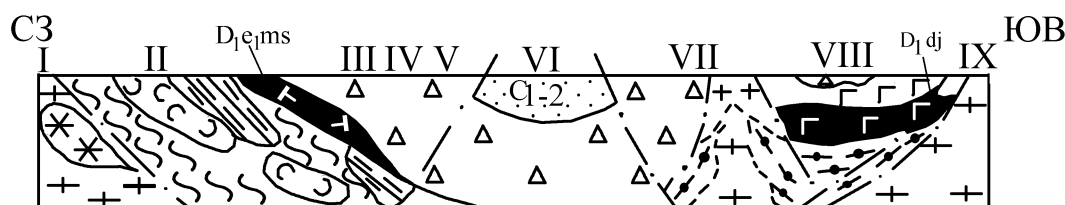
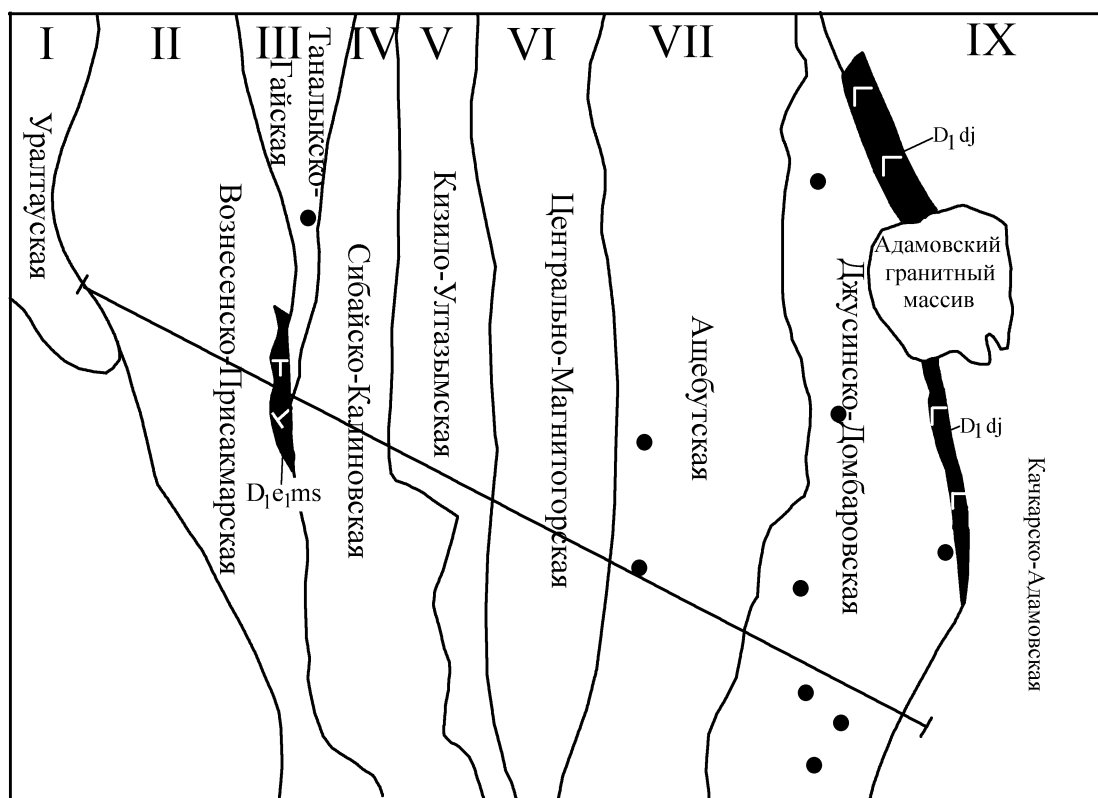


Рис. 1. Схема структурно-формационного районирования южной части Магнитогорской мегазоны и схематический геологический разрез. Номера структурно-формационных зон: I — Уралтауская; II — Вознесенско-Присакмарская; III — Таналыкско-Гайская; IV — Сибайско-Калиновская; V — Кизило-Уртазымская; VI — Центрально-Магнитогорская; VII — Ашебутская; VIII — Джусинско-Домбаровская; IX — Качкарско-Адамовская

Условные обозначения: 1 — кристаллический фундамент; 2 — продукты высокобарического метаморфизма; 3 — серпентинитовый меланж; 4 — толщи фации зеленых сланцев; 5 — фрагменты океанических базальтов; 6 — фрагменты разреза сакмарской ( $S_{1-2}$ ) и мазовской ( $D_1$ ) свит; 7 — вулканиты Мостостроевского комплекса ( $D_{1e_1ms}$ ); 8 — аповулканитовые сланцы Джаилганского комплекса ( $D_{1e_1?dj}$ ); 9 — вулканогенные и вулканогенно-осадочные толщи позднеэмского — позднедевонского возраста островодужных ( $D_{1e_2}-D_{2ef_1}$  и  $D_{2zv}-D_{3fm}$ ) стадий развития Магнитогорской островной дуги; 10 — вулканогенные толщи ( $D_{1e_2}$ ) Киембаевского и Акжарского комплексов задугового субокеанического спредингового бассейна; 11 — граниты  $Pz_{2-3}$ ; 12 — вулканогенно-осадочные и карбонатные отложения карбона; 13 — разрывные нарушения; 14 — колчеданные месторождения

леитам СОХ [Рыкус, 1992; Вулканизм ..., 1992]. Величина отношений Ni/Co в базальтах рассматриваемого комплекса колеблется от 1,48 до 5,2, что типично для океанических толеитов [Лутц, 1980]. В то же время следует отметить снижение абсолютных количеств Ni до 24 г/т и Co до 16 г/т в породах с пониженной магнезиальностью (MgO — 6,2%), что можно объяснить процессами фракционирования с отсадкой оливина.

Для идентификации базальтов Киембаевского комплекса с типовыми составами построена спайдер-диаграмма нормированных значений по-

рода/N-MORB (рис. 3). На этой диаграмме видна близость составов базальтов Киембаевского комплекса с базальтами N-MORB по всему ряду РЗЭ, Zr, Y, Р. Ниобий обнаруживает близкие к N-MORB и слегка пониженные значения. Положительные аномалии дают нормализованные значения крупноионных элементов, U, Th и Pb. Положительные аномалии К и Rb невелики, что связано с натриевой спецификой магм. Графики порода/хондрит, как отмечалось ранее, субпараллельны вариационным линиям трахибазальтов Джайлганского комплекса, но располагаются ниже последних в связи

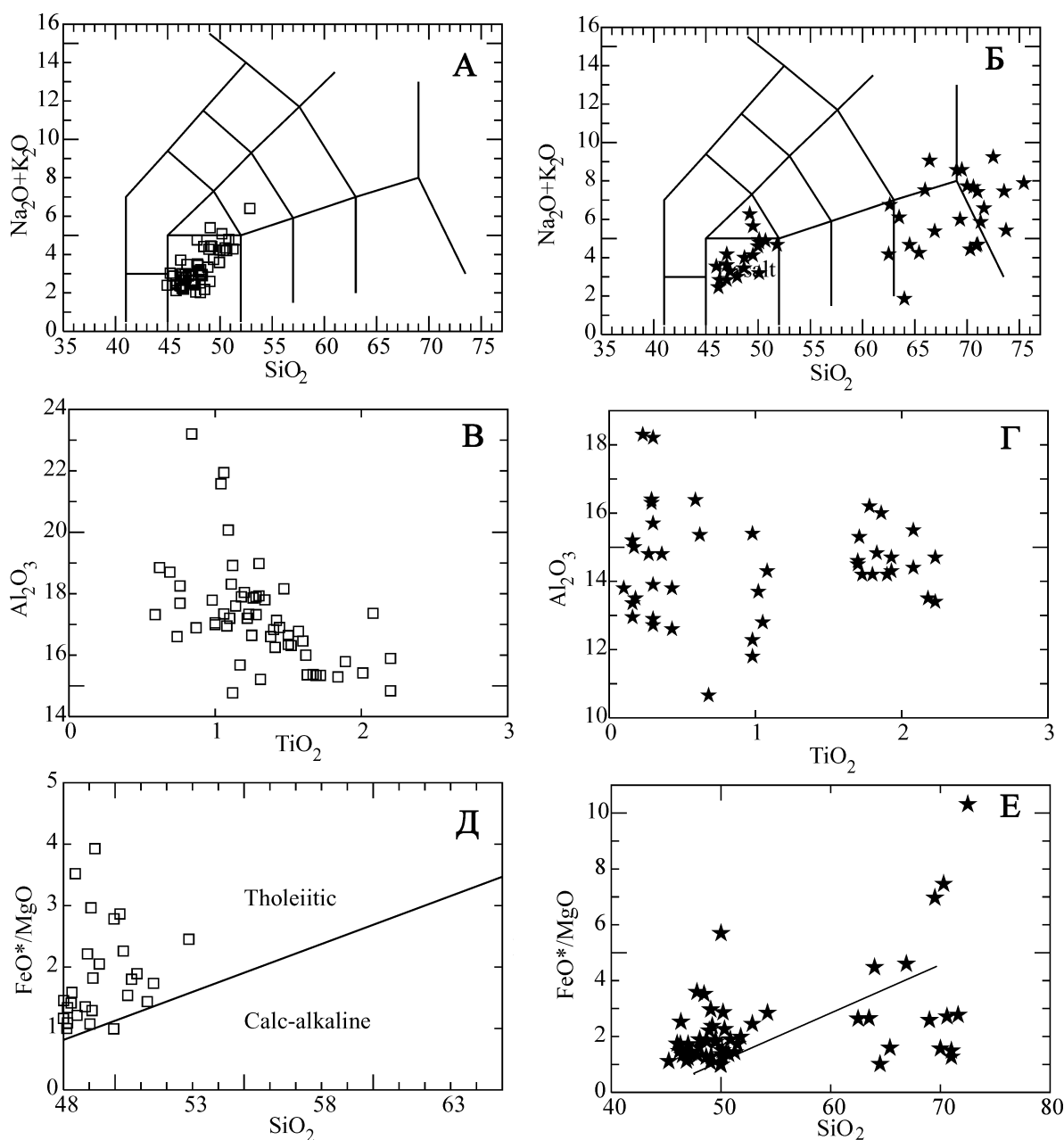


Рис. 2. Петрохимические особенности вулканитов киембаевского и акжарского вулканических комплексов

А, Б — соотношения  $(K_2O+Na_2O) - SiO_2$ ; В, Г — соотношения  $Al_2O_3 - TiO_2$ ; Д, Е — диаграмма  $FeO^*/MgO - SiO_2$  (А. Миасиро)

с пониженными концентрациями в киембаевских базальтах РЗЭ. Слабо выпуклая форма графиков с дефицитом легких РЗЭ и очень слабым дефицитом тяжелых РЗЭ весьма характерна для океанических

толеитов. Отношение La/Yb для этих базальтов варьирует от 0,89 до 1,1. Таким образом, толеитовые базальты нижней части разреза Киембаевского комплекса близки к субокеаническим толеитам ордо-

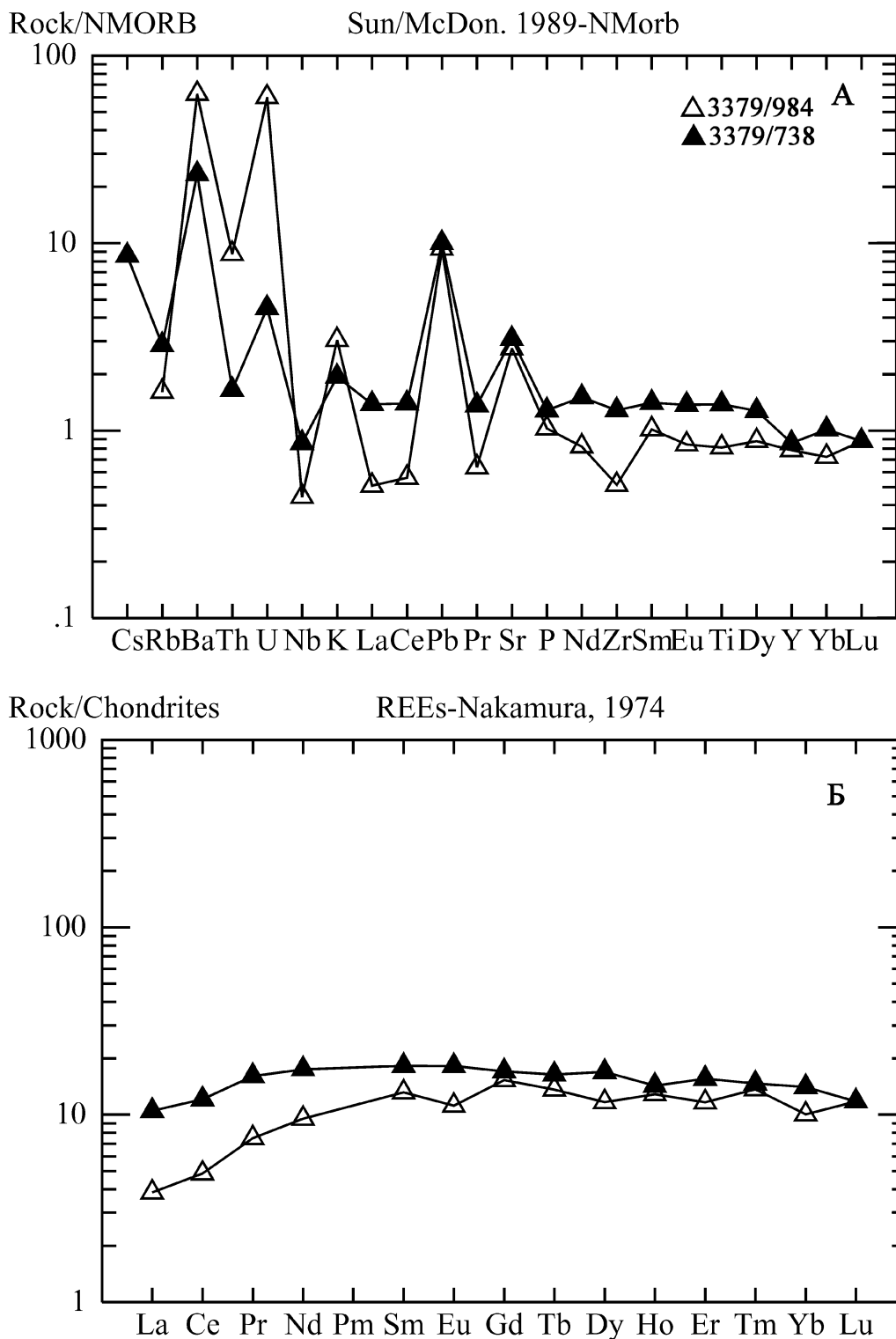


Рис. 3. Распределение микроэлементов, нормализованных по N-MORB (А) [Sun, McDonough, 1989] и редкоземельных элементов, нормированных по хондриту (Б) [Nakamura, 1974] в вулканитах Киембаевского комплекса

викского возраста Вознесенско-Присакмарской зоны [Косарев и др., 2003]. Небольшое повышение концентраций Eu, Sm, Nd, Pr, Ce, La и U (таблица) обнаруживается в пробах из верхней части разреза

комплекса. Для тех же проб установлены положительные аномалии Eu и Sr, отрицательные (слабые) — Zr, что, возможно, свидетельствует о некотором обогащении пород плагиоклазом.

Таблица

Содержание петрогенных окислов (масс. %) и редких элементов в вулканитах  
Джаилганского, Киембаевского и Акжарского вулканических комплексов

	1	2	3	4	5	6	7
кп/№пп	3379/1297	3379/1229	3379/984	3379/738	1480	1625	1467
SiO <sub>2</sub>	44	44,3	47	47,9	45,7	50,1	44,5
TiO <sub>2</sub>	2,35	4,86	1,03	1,75	1,58	1,71	1,5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,8	13,2	15,6	15,5	14	15,3	15,3
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,07	16,57	9,9	12,46	11,5	9,4	9,45
MnO	0,27	0,26	0,19	0,17	0,11	0,12	-
MgO	7,07	5,34	9	6,2	6	5,7	7,14
CaO	6,14	8,32	12	8,7	12,04	12,1	6,7
Na <sub>2</sub> O	3,73	3,5	3,6	3,9	4,05	3,04	3,5
K <sub>2</sub> O	0,12	1,29	0,22	0,14	0,08	0,16	1,57
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,34	0,46	0,12	0,15	0,14	0,13	0,18
ппп	7,99	2,66	2,7	2,99	5,22	-	-
сумма	99,87	100,76	101,36	99,86	100,42	97,76	89,84
Li	10	2	1	2	-	-	-
Rb	1,5	39,7	0,9	1,6	-	-	33,8
Cs	-	-	-	0,06	-	0,56	0,35
Sr	340	169	246,8	277	480	235	182
Ba	57	300	393,9	147	87	750	176
Sc	38,5	54	41,2	-	43,3	42,9	27
V	276	447	178	268	-	-	195
Cr	16,3	27	276,7	22	182,8	28,1	118
Co	42	34	45,9	16	298	40	32
Ni	100	52	240	24	-	-	74
Cu	82	34	<10	12	-	-	49
Zn	86	116	98	96	-	30	74
Y	41	46	22	24	-	-	26
Nb	6	6	1,03	2	-	-	1,6
Ta	0,59	0,99	0,6	0,4	-	-	0,65
Zr	66	232	38	95	55	70	88
Hf	3,17	-	2,38	1,17	3,75	3,19	1,2
Mo	0,37	0,63	0,38	0,1	-	-	0,4
Hf	0,39	1,8	0,19	0,78	-	-	-
Pb	4,7	2,1	2,8	3	-	-	-
U	0,2	0,16	2,82	0,212	3,68	2,47	0,16
Th	0,7	0,34	1,05	0,198	0,16	1,39	0,39
La	9,08	9,66	1,27	3,46	7,88	8,89	6,6
Ce	24	32,7	4,2	10,46	18,8	22,3	17,9
Pr	3,62	4,6	0,84	1,8	2,74	3,4	2,8
Nd	19,6	26,1	6	11	13,4	17	15,9
Sm	6,62	7,8	2,67	3,7	4,28	5,64	4,5
Eu	1,7	2,6	0,86	1,4	1,97	2,62	1,6
Gd	8	9	4,22	4,7	5,7	7,97	5,1
Tb	1,14	1,3	0,64	0,77	0,83	1,18	0,7

Таблица (окончание)

	1	2	3	4	5	6	7
Dy	6,17	9,5	4	5,8	4,7	6,81	5,4
Ho	1,29	1,6	0,9	1	1,02	1,45	0,9
Er	3,39	5,1	2,62	3,5	2,69	4	3
Tm	0,46	0,6	0,41	0,44	0,39	0,56	0,36
Yb	2,3	3,9	2,21	3,09	1,8	3	2,4
Lu	0,36	0,45	0,4	0,4	0,31	0,48	0,29

**Примечание к таблице:** 1–2 — тефриты Джайлганского комплекса ( $D_{1e_1}$ ), 3–4 — субокеанические толеитовые базальты Киембаевского комплекса ( $D_{1e_2}$ ), 5–7 — субокеанические базальты Акжарского комплекса ( $D_{1e_2}$ ).

### Акжарский базальт-риолитовый вулканический комплекс

В плане химизма базальты Акжарского вулканического комплекса обнаруживают сходство с аналогичными вулканитами Киембаевского комплекса. Наиболее близки между собой в сравниваемых комплексах концентрации  $TiO_2$  и  $FeO^*$ , что хорошо видно на диаграмме  $SiO_2 - FeO^*/MgO$  (рис. 2Д, Е). Вместе с тем, следует отметить более широкий размах колебаний в базальтах Акжарского комплекса значений отношения суммарного железа к  $MgO$ . А на диаграмме  $SiO_2 - K_2O + Na_2O$  (рис. 2А, Б) хорошо видно присутствие среди базальтов Акжарского комплекса разновидностей с повышенной ( $\geq 5\%$ ) суммарной щелочностью. Одной из главных особенностей Акжарского вулканического комплекса является присутствие в его составе довольно заметных объемов кислых пород различной фациальной принадлежности. М.В. Рыкус [1992] среди кислых пород выделяет группу дацитов (среднее значение  $SiO_2$  64%) и группу риодацитов (среднее значение  $SiO_2$  70%). Суммарная щелочность возрастает с ростом в кислых породах содержания  $SiO_2$ , что свидетельствует о первично-магматической природе этой закономерности.

Базальты Акжарского комплекса по содержаниям Ni, Cr, Ti аналогичны соответствующим породам Киембаевского комплекса, что видно на диаграммах Ni – Cr и Ti – Cr [Вулканизм ..., 1992].

Базальты Акжарского комплекса по геохимическим характеристикам относятся к слабо обогащенному типу толеитовых и субщелочных натриевых базальтов (рис. 4). На спайдеграмме нормализованных по N-MORB концентраций микроэлементов видны повышенные концентрации, по сравнению с N-MORB, средних и легких РЗЭ, в отдельных пробах — также K, U, Cs, Rb, Ba, в меньшей мере Th. На том же графике обнаруживается дефицит тяжелых РЗЭ, наличие слабых негативных аномалий Nb, P, Zr при сохранении умеренных концентраций  $TiO_2$ . На диаграмме значений порода/хондрит форма графиков слабо выпуклая

в области Sm, Eu, Gd с очень слабым дефицитом легких РЗЭ и более заметным дефицитом тяжелых РЗЭ. Отношение La/Yb составляет 2,75–4,38, что характерно для островодужных известково-щелочных петрогенетических серий [Петрология и геохимия ..., 1987]. Таким образом, базальты Акжарского комплекса по соотношениям Co и Ni, Ti и Cr, повышенной титанистости сопоставимы с океаническими толеитами и субщелочными базальтами, а по уровню концентраций РЗЭ, Zr, Nb стоят близко к островодужным базальтам. Эти сведения позволяют выделить базальты Акжарского комплекса в тип переходный, с чертами океанических и островодужных базальтов, что характерно для окраинных морей островодужных систем [Петрология и геохимия ..., 1987].

### Выводы

Толеитовые базальты Киембаевского комплекса формировались на океанической стадии эволюции Домбаровской зоны задугового спрединга, которая следует после стадии субконтинентального рифтогенеза, на которой образовался тефрит-трахибазальтовый Джайлганский вулканический комплекс. По петрохимическим и геохимическим особенностям киембаевские базальты близки типу N-MORB, что хорошо видно по характеру распределения РЗЭ. При этом в рассматриваемых базальтах на спайдер-диаграммах проявлены положительные геохимические аномалии крупноионных элементов и негативные аномалии Nb, Zr и слабо Y, что свидетельствует о наличии в их составе островодужного уклона, обычного для вулканических комплексов задуговых бассейнов.

Акжарский вулканический комплекс обладает субщелочным натриевым уклоном в базальтовой части комплекса, что находит отражение в повышенной суммарной щелочности и некотором обогащении легкими и средними РЗЭ, по отношению к тяжелым РЗЭ. Островодужный тренд в составах базальтов обнаруживается на графиках

порода / N-MORB в наличии негативных аномалий Nb, P и Zr. Среди кремнекислых пород выделяются разновидности с умеренными и повышенными значениями суммарной щелочности и железистости

(FeO'/MgO), что позволяет предполагать наличие групп, принадлежащих к известково-щелочной, толеитовой и умеренно-щелочной петрохимическим сериям.

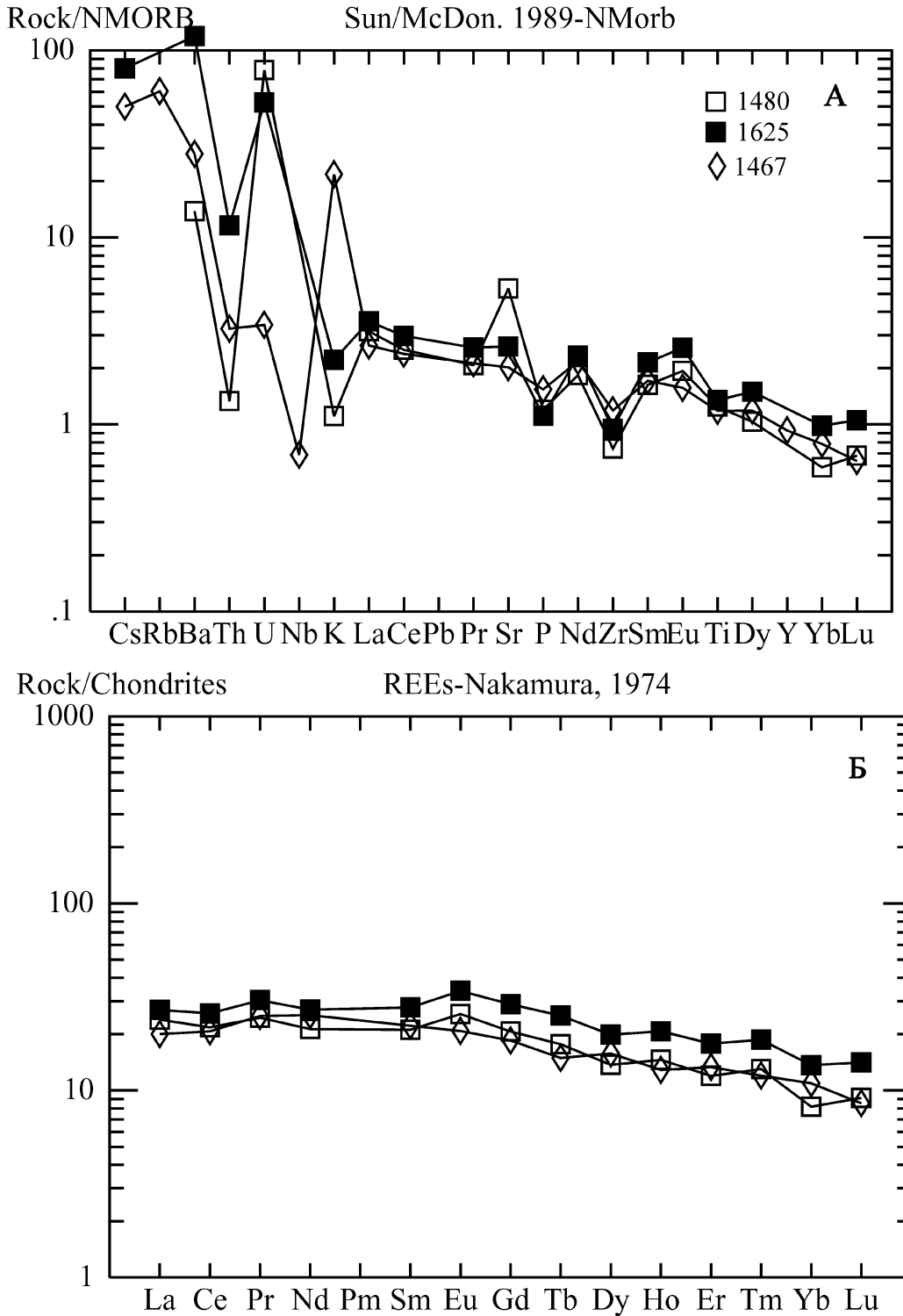


Рис. 4. Распределение микроэлементов, нормализованных по N-MORB (А) [San, McDonough, 1989] и редкоземельных элементов, нормированных по хондриту (Б) [Nakamura, 1974] в вулканитах Акжарского комплекса

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы «Поволжье», рег. 40/43-П, договор № 08–05–97005 и программы № 2 ОНЗ РАН.

Автор выражает благодарность Г.Т. Шафигулиной за большую помощь в оформлении статьи.

#### **Литература:**

**Вулканизм Южного Урала / И.Б. Серавкин, А.М. Косарев, Д.Н. Салихов и др.** М.: Наука, 1992. 197 с.

**Зайков В.В.** Вулканизм и сульфидные холмы палеоокеанических окраин. М.: Наука, 2006. 429 с.

**Зайков В.В., Масленников В.В., Зайкова Е.В., Херрингтон Р.** Рудно-формационный и рудно-фациальный анализ колчеданных месторождений Уральского палеоокеана. Миасс: ИМин УрО РАН, 2001. 315 с.

**Косарев А.М.** Умереннощелочной и щелочной вулканизм раннеэмского времени на Южном Урале: геохимические особенности и геодинамические реконструкции // Литосфера. 2007. № 6. С. 54–70.

**Косарев А.М., Знаменский С.Е., Серавкин И.Б., Родичева З.И.** Особенности химизма вулканитов Вознесенско-Присакмарской зоны // Геологический сборник № 3 / ИГ УНЦ РАН. Уфа, 2003. С. 152–161.

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

**Лядский П.В.** Особенности химизма базальтоидов Домбаровской структурно-формационной зоны // Химизм колчеданосных вулканогенных формаций Урала. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1982. С. 87–98.

**Петрология** и геохимия островных дуг и окраинных морей / Под ред. О.А. Богатикова и др. М.: Наука, 1987. 335 с.

**Рихтер Я.А., Кригер М.А.** Новые данные по стратиграфии и тектонике восточного крыла Магнитогорского мегасинклинория в Домбаровском районе (Южный Урал) // Вопросы геологии Южного Урала и Поволжья. Саратов, 1969. Вып. 4, Ч. 3. С. 25–37.

**Рыкус М.В.** Вулканизм и металлогения Джусинско-Домбаровского палеовулканического пояса Южного Урала. Уфа: БНЦ УрО РАН, 1992. 172 с.

**Серавкин И.Б.** Палеовулканизм и колчеданные месторождения Южного Урала // Литосфера. 2002. № 1. С. 37–60.

**Серавкин И.Б.** Вулканогенные колчеданные месторождения Южного Урала // Геодинамика, магматизм, метаморфизм и рудообразование. Екатеринбург: ИГиГ УрО РАН, 2007. С. 638–669.

**Стратиграфия** и корреляция среднепалеозойских вулканогенных комплексов основных медноколчеданных районов Южного Урала / В.А. Маслов, В.Л. Черкасов, В.Т. Тищенко и др. / Отв. ред. В.А. Маслов. Уфа: УНЦ РАН, 1993. 217 с.

**Nakamura N.** Determination of REA, Ba, Fe, Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary chondrites // Geochim. Cosmochim. Acta. 1974. Vol. 38, No 5. P. 757–775.

**Sun S.S., McDonough W.F.** Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts // Implications for mantle composition and process: Special Publication. Geological Society of London, 1989. 42. P. 313–345.