

УДК 551.21+552.11

*А. М. Косарев, И. Б. Серавкин, К. Р. Минибаева, А. А. Измайлова*

## ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ КРЕМНЕКИСЛЫХ ПОРОД ВЕРХНЕТАНАЛЫКСКОГО ПАЛЕОВУЛКАНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА БАЙМАКСКОГО РУДНОГО РАЙОНА

**Аннотация.** Кислые породы дацит-риолитового ряда эффузивной, экструзивно-субвулканической и гиповулканической фаций тесно связаны с колчеданными месторождениями Баймакского рудного района. Большинство основных, средних и кислых пород принадлежит магниальной известково-щелочной серии. Часть натровых высокожелезистых интрузивных пород относится к толлитовой серии, завершающей кислый вулканизм в Баймакском районе.

**Ключевые слова:** кислые породы, вулканизм, фации, геохимия, островные дуги.

Изучены геохимические особенности кремнекислых пород верхнетаналыкского палеовулканического комплекса Баймакского рудного района, который соответствует верхней подсвите баймак-бурибаевской свиты ( $D_1e_2b-br_2$ ). Основанием работы служат химические анализы кислых вулканических пород эффузивной, экструзивно-субвулканической и гиповулканической фаций. Проведены силикатный анализ (ИГ УНЦ РАН, г. Уфа), рентгенофлуоресцентный и ICPMS анализ микроэлементов, включая РЗЭ (ИГЕМ РАН, г. Москва), атомно-абсорбционный анализ рудогенных элементов (19 проб) (ИГ УНЦ РАН, г. Уфа), приведенных в таблице. Использовались также химические анализы вулканических и интрузивных пород, опубликованные ранее [Колчеданные..., 1973; Костина, 1973].

Кислые породы занимают заметное место в геологическом строении Баймакского рудного района. Обращает внимание постоянное присутствие кислых пород эффузивной и экструзивно-субвулканической фаций, а также комагматичных им гипабиссальных плагиогранитов интрузивной фации на рудных полях колчеданных месторождений этого района [Бородаевская и др., 1970; Колчеданные..., 1973; Костина, 1973; Серавкин, 1986, 2007; Косарев и др., 2005]. М.Б. Бородаевская с соавторами [1970] придерживались мнения о том, что кислые породы баймак-бурибаевской формации являются дифференциатами базальтовых магм. Т.И. Фролова [1970],

Р.И. Костина [1973] пришли к выводу, что основные объемы кислых пород, включающие эффузивные и субвулканические породы, являются палингенными выплавками. Лишь небольшой объем субвулканических ферродациитов и гранофиров ранней фазы отнесены к дифференциатам базальтовых расплавов. В работе [Косарев и др., 2005] был сделан вывод о принадлежности вулканитов непрерывной базальт-андезит-дацит-риолитовой формации Баймакского района к известково-щелочной магниальной серии. Эффузивные и субвулканические породы верхней подсвиты баймак-бурибаевской свиты выделены И.Б. Серавкиным и А.М. Косаревым в верхнетаналыкский палеовулканический комплекс.

В составе верхнетаналыкского комплекса Баймакского района И.Б. Серавкиным выделены 2 толщи, нижняя и верхняя.

Нижнюю толщу ( $vt_{n1}$ ) слагают преобладающие андезиты, в небольшом объеме присутствуют базальты, андезибазальты, андезидациты, дациты и туфы среднего состава. Дацииты и риодациты эффузивные в составе нижней толщи верхнетаналыкского комплекса имеют ограниченное распространение. Наряду с небольшими объемами эффузивных дацитов и риодацитов кварцево-порфировых, присутствуют базокварцевые дациты, геологически тесно связанные с эффузивными андезитами. Макроскопически базокварцевые дациты представляют собой плагиопорфировые породы. Под микроскопом видны фенокристы альбитизированного плагиоклаза таблитчатой формы с микролитом-микророй-киллитовой структурой с реликтами гранофировой структуры. В керне скважин наблюдается частое переслаивание измененных дацитов с плагиограни-

© А. М. Косарев, 2014  
© И. Б. Серавкин, 2014  
© К. Р. Минибаева, 2014  
© А. А. Измайлова, 2014

тами. Судя по всему, этот тип кислых пород соответствует ферродацитам Р.И. Костиной [1973].

Верхняя толща верхнетаналькского комплекса (vtn<sub>2</sub>) обладает «пестрым» набором пород, среди которых широко распространены эффузивные, пирокластические, тефроидные и экструзивно-субвулканические фации. Выделяются 3 типа разрезов этой толщи: 1) переслаивающихся базальтов, андезитов, дацитов, риодацитов; 2) преобладающих кислых вулканитов; 3) пород кислого и среднего составов.

Эффузивные дациты и риодациты распространены широко. Выделяются следующие типы эффузивных кислых пород: 1) дациты и риодациты «полустекловатые» мелкопорфировые плагиоклазовые и роговообманково-плагиоклазовые; 2) дациты и риодациты мелкопорфировые и среднепорфировые кварцсодержащие плагиоклазовые; 3) риодациты среднепорфировые кварц-роговообманково-плагиоклазовые.

Для первых двух типов эффузивов характерны метасферолитовая, фельзитовая, микролитово-микроройкилитовая микроструктуры и различные их сочетания. Кремнекислые породы третьего типа слагают эффузивные лавовые потоки, а также экструзии и субвулканические тела. В них обычны метасферолитовая, фельзито-микролитово-микрозернистая микроструктуры.

Из вторичных минералов присутствуют хлорит, серицит, кварц, альбит, эпидот, лейкоксен, карбонат, пирит. В зонах динамометаморфизма появляются чешуйки мусковита.

Пирокластические породы кислого состава распространены незначительно. Они известны среди эффузивов кислого состава в разрезе г. Таш-тау и представлены псаммитовыми и гравийно-лапиллиевыми туфами. Обломки кварц-плагиофировых дацитов довольно однообразны. Преобладают мелкопорфировые кварц-плагиоклазовые дациты с фельзитовой, микролитовой, микрозернистой структурами основной массы. Вкрапленники плагиоклаза альбитизированы, несут следы первичной зональности, выраженные в виде концентрической эпидотизации. В межобломочных пространствах интенсивно проявлены эпидотизация и хлоритизация. Порода подвергнута слабому расщеплению, особенно наглядно проявившемуся во вкрапленниках в виде субпараллельных зон серицитизации, косо секущих элементы двойникового и зонального строения плагиоклаза. В виде примеси в составе туфов дацитового состава присутствуют редкие осколки андезитов.

Тефроиды находятся в виде прослоев среди туфов кислого состава. Для них характерны однообразие обломков, представленных хлоритизиро-

ванным кислым стеклом с фельзито-микрозернистой структурой основной массы, и присутствие редких осколков плагиоклаза и кварца. В межобломочных пространствах наблюдаются тонкочешуйчатый серицит и хлорит. По всему полю шлифа тефрогенных алевролитов и алевропесчаников спорадически встречаются лейкоксен-эпидот-сфеновые землистые скопления диаметром до 0,05 мм. В зонах динамометаморфизма слоистость бывает разорвана и приобретает линзовидный характер. Наблюдается ориентировка обломков вдоль сланцеватости и появление струйчатых выделений серицит-хлоритового вещества.

Интрузивные, субвулканические и экструзивные образования детально изучены. Предыдущими исследованиями [Серавкин, 1981, 1986; Колчеданные..., 1973] показано, что поверхностные вулканические, экструзивные, субвулканические и интрузивные образования района являются комагматическими и образуют Баймакский вулканоплутонический комплекс. Большое разнообразие широко распространенных в нем рвущих тел интрузивного и субвулканического облика подразделяется на 3 группы.

1. Группу *ранних субвулканических и экструзивных тел* представляют силлы, штоки, дайки и экструзивные купола, формировавшиеся на небольших глубинах (первые сотни метров от древней поверхности) или вышедшие на поверхность (экструзии). В пределах Куянтауской антиклинали, самой западной в Баймакском рудном районе, в группу ранних субвулканических тел включены также дайки баймак-бурибаевской формации района горы Куянтау, изученные и охарактеризованные Р.И. Костиной [1973]. Предполагается, что это самая ранняя фаза субвулканических пород, которая в обнаженной части разреза верхнетаналькского комплекса в Баймакском районе отсутствует. На Абей-саз—Бакр-тауском рудном поле к ранней группе принадлежат силлы и экструзивные купола кварцевых риодацитов.

*Экструзивные и субвулканические дациты и риодациты ранней группы* последнего участка представлены средне- и крупнопорфировыми разновидностями, содержащими фенокристы кварца, плагиоклаза и роговой обманки. Дациты отличаются от риодацитов повышенными содержаниями вкрапленников роговой обманки и обогащенной хлоритом основной массы.

2. Группу *поздних экструзивных и субвулканических тел* представляют роговообманково-кварц-плагиоклазовые дациты и риодациты крупнопорфировые и мегафировые. Фенокристаллы плагиоклаза, кварца, роговой обманки содержатся в переменных количествах. Характерной особенностью субвулканических пород поздней группы являются

пегматоидные и гранофировые гомеогенные выделения, которые детально были описаны Л.Н. Сопко [Колчеданные..., 1973].

3. Группу *гиповулканических интрузий* составляют плагиогранодиориты и плагиограниты, образующие серию гиповулканических интрузивных тел [Колчеданные..., 1973]. По данным Л.Н. Сопко, наряду с плагиогранитами и гранодиоритами присутствуют кварцевые диориты и диориты. Весьма широкое распространение в субвулканических породах гомеогенных включений, соответствующих вышеперечисленным составам, свидетельствует о генетической связи поздних тел кварцевых порфиров и плагиогранитов.

Все разновидности структур гомеогенных включений встречаются в телах плагиогранитов, что свидетельствует о генетической связи поздних тел кварцевых порфиров и плагиогранитов.

### Особенности распределения петрогенных оксидов и микроэлементов в кремнекислых породах Баймакского рудного района

По петрохимическим характеристикам кислые породы Баймакского рудного района варьируют от дацитов до риодацитов в эффузивных и в экстрезивно-субвулканических породах и от гранодиоритов до плагиогранитов в гиповулканических интрузивных породах.

Как следует из таблицы и диаграмм (рис. 1), для химизма кислых эффузивных и субвулканических пород Баймакского района характерно: 1 — незначительное количество вулканитов риолитового состава с концентрациями  $\text{SiO}_2 > 73\%$  и преобладание среди эффузивных и субвулканических пород дацитов и риодацитов [Колчеданные..., 1973]; интрузивные породы представлены плагиогранодиоритами и плагиогранитами с содержаниями  $\text{SiO}_2$  соответственно от 65–68,2% до 75,7% — в плагиогранитах Богачевского массива; 2 — низкие и умеренные концентрации  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , составляющие 11,79–15,21%; 3 — повышенные количества  $\text{MgO}$ , варьирующие в интервале 0,63–4,6%, но в большинстве случаев концентрации этого оксида повышены; 4 — повышенные концентрации  $\Sigma\text{FeO}'$  в части субвулканических и интрузивных пород, достигающие 6,04–7,3%; 5 — повышенные концентрации  $\text{Na}_2\text{O}$  2,5–5,6% и низкие содержания  $\text{K}_2\text{O}$  0,08–1,63%, достигающие 3,15%.

Анализ петрохимических и геохимических материалов проводился с помощью серии диаграмм петрогенных оксидов и микроэлементов (рис. 1), а также спайдер-диаграмм, в которых использованы нормированные по NMORB и хондриту концентрации компонентов (рис. 2).

На диаграммах рис. 1 А, Б ( $\text{SiO}_2 - \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  и AFM) видно, что все породы имеют нормальную щелочность в рамках преимущественно известково-щелочной серии. Содержания  $\text{K}_2\text{O}$  (табл.) варьируют от 0,08 до 1,63%, изредка достигая 3,15%, что позволяет относить этот комплекс к низко-среднекалийным. Редкие очень низкие концентрации  $\text{K}_2\text{O}$ , достигающие 0,08–1,12%, сочетаются с пониженными концентрациями  $\text{CaO}$  (0,54–0,97%), что, скорее всего, связано генетически.

Исключение составляет группа кремнекислых пород субвулканической фации Куянтауской антиклинали, выделенная Р.И. Костиной [1973]. Эти породы имеют риодацитовый состав. Петрогенные оксиды варьируют в следующих пределах:  $\text{SiO}_2$  69,04–70,64%;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  12,75–13,52%;  $\text{FeO}'$  5,42–6,96%;  $\text{MgO}$  0,56–1,54%;  $\text{CaO}$  1,42–2,05%;  $\text{Na}_2\text{O}$  4,64–6,52%;  $\text{K}_2\text{O}$  0,18–2,34%. На диаграмме  $\text{SiO}_2 - (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$  эти породы располагаются в области нормальнощелочных составов, а на диаграмме AFM они попадают в поле толеитовых составов или располагаются на линии, разделяющей толеитовую и известково-щелочную серии, то есть относятся к толеитовой серии Баймакского района.

При анализе диаграммы  $\text{MgO} - \text{SiO}_2$  (рис. 1 В, табл.) выясняется, что кислые породы Баймакского района, так же как основные и средние, обладают повышенными содержаниями  $\text{MgO}$ , достигающими 4,56% в даците, содержащем во вкрапленниках пироксен, роговую обманку, плагиоклаз и кварц (табл., проба 4186/421). Поле магнезиальных кислых пород, нисходящее к разновидностям с высокими содержаниями  $\text{SiO}_2$  (до 75,73%), сверху ограничивается вариационной кривой кислых пород — дифференциатов бонинитовой серии, по А.Я. Шараськину [Петрология и геохимия..., 1987], а снизу — линией составов кислых пород позднекайнозойской известково-щелочной глиноземистой серии Камчатки, по Г.П. Авдейко и др. [Петрология и геохимия..., 1987]. Таким образом, по составам кислых пород подтверждается правильность выделения в верхней подсвете баймак-бурибаевской свиты Баймакского рудного района магнезиальной известково-щелочной серии [Косарев и др., 2005]. Аналогичную вышеописанную позицию кислые вулканиты Баймакского района занимают на диаграмме  $\text{SiO}_2 - \text{Zr}$  (рис. 1 Г), где верхняя граница совпадает с известково-щелочной серией Идзу-Бонинской островной дуги, а нижняя — с кислыми дифференциатами бонинитовой серии [Петрология и геохимия..., 1987]. Толеитовая серия кислых вулканитов с низкими содержаниями  $\text{K}_2\text{O}$ , связанная с гранодиорит-плагиогранитными интрузиями, возможно, не является очень ранней, так как обнаруживает связь с телами плагиогранитов, имеющими поздний возраст,

## Содержания петрогенных окислов (масс. %) и редких элементов

№ обр.	3632/381	4002/262	4003/545	4002/52	4002/232	4003/229	4003/700	3632/147	4002/333
группа	эффузивные дациты					эффузивные риодациты			
SiO <sub>2</sub>	64,11	65,98	66,5	66,79	67,31	68	68,46	69,91	70
TiO <sub>2</sub>	0,24	0,4	0,35	0,35	0,27	0,35	0,28	0,26	0,16
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,79	15,21	14,4	14,42	14,89	13,4	13,53	12,63	14,5
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,96	1,15	0,804	2,63	2,54	1,9	1,66	4,43	1
FeO		3,02	3,9	1,76	1,58	3,3	2,8		2
MnO	0,098	0,07	0,14	0,1	0,05	0,11	0,07	0,044	0,07
MgO	1,91	2,56	3,6	1,6	2,25	4,6	2,95	1,75	1,8
CaO	6,44	2,69	1,6	4,48	0,91	1,4	0,84	3,24	2,2
Na <sub>2</sub> O	4,8	3,55	4,8	5,33	4,97	3,6	5,33	4,05	5,6
K <sub>2</sub> O	0,42	1,03	0,8	1,15	0,8	0,7	0,71	1,63	0,7
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,052							0,072	
ППП	6,1	2,71	2,5	1,57	2,46	2,8	2,58	1,9	1,66
SUM	99,87	98,91	99,09	100,2	98,03	100,16	99,21	99,92	99,69
Cr	138					120	74	73	
Co	16	34	17	13	17	6	10	18	19
Ni	14	37	21	19	28	57	68	16	19
Cu	10	280	5	12	91	11	32	19	431
Zn	39	121	73	48	48	53	45	41	160
Pb	5	5	5	6	5	55	92	5	420
Rb		10						7	5
Sr	65	133	115	1293	147			93	142
Zr	85	67	105	103	82			85	83
Sc	16	28	19	12	10			15	8
Y	10	8	10	7	7			11	3
Nb	2	4			7			7	7
Ba	87	194	195	186	300			168	165
V	31	286	83	77	69			93	55
La	6,6		5,2	6,6	5,2			4,1	5,6
Ce	13,1		11,9	14,2	12,1			9,51	12
Pr	1,59		1,75	1,88	1,6			1,29	1,69
Nd	7,23		7,5	8,4	6,8			5,62	7,3
Sm	1,78		1,96	1,9	1,59			1,46	1,94
Eu	0,5		0,33	0,6	0,37			0,34	0,46
Gd	2,05		1,76	2,12	1,62			1,61	2,01
Tb	0,32		0,28	0,32	0,22			0,23	0,3
Dy	2,07		1,78	2,03	1,42			1,55	1,9
Ho	0,45		0,38	0,41	0,29			0,31	0,37
Er	1,3		0,97	1,16	0,75			0,94	0,99
Tm	0,18		0,13	0,17	0,1			0,14	0,13
Yb	1,04		0,82	0,94	0,58			0,93	0,86
Lu	0,15		0,11	0,1	0,07			0,13	0,2
Th	0,31		0,45	0,56	0,3			0,27	0,24
U	0,15		0,14	0,16	6,01			0,17	0,1

Таблица 1

(г/т) в вулканитах Баймакского рудного района

№ обр.	4003/614	3638/526	4002/730	4186/421	0123А	0131Б	0131А	131	123	132
группа	эффузивные риодациты			субвулканические			интрузивные			
SiO <sub>2</sub>	70,83	71,48	72	64,13	67,6	69,67	64,11	65	68,2	75,7
TiO <sub>2</sub>	0,28	0,26	0,35	0,25	0,33	0,22	0,28	0,2	0,35	0,12
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,03	13,33	12,5	13,13	13,2	13,09	12,96	12	13,1	12,5
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,21	4,34	1,6	6,04	6,27	3,61	6,61	7,3	6,05	2,69
FeO	2,8		3,8							
MnO	0,07	0,075	0,08	0,099	0,113	0,066	0,158	0,2	0,09	0,02
MgO	1,78	2,17	2,6	4,56	3,88	1,96	3,8	3,8	2,45	0,63
CaO	1,26	0,82	2,8	2,67	0,54	2,02	3,23	3,1	1,55	0,47
Na <sub>2</sub> O	4,21	4,83	2,5	5,04	5,17	4,85	3,67	3,5	5,33	5,36
K <sub>2</sub> O	0,74	0,77	1,2	0,83	0,08	0,93	0,34	0,2	0,1	0,38
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		0,078	0	0,029	0,094	0,089	0,071	0,1	0,11	0,02
ППП	1,88	1,8	1,9	2,95	2,54	2,03	3,74	3,9	1,96	0,85
SUM	98,09	99,95	100,46	99,75	99,84	98,58	99,01	99	99,2	98,8
Cr	44		59	89	18	17	43	102	25	15
Co	6	13	15	14	8	1	10	12	8	
Ni	23	16	39	22	1	8	8	14	1	5
Cu	19	12	37							
Zn	42	63	47	20	33	180	90	85	40	
Pb	35	5	9							
Rb				15	7	14	10	7	6	9
Sr		79		220	80	261	125	155	133	92
Zr		101		67	117	123	114	108	117	122
Sc		15								
Y		8		20	34	19	19	19	33	31
Nb				8	14	8	10	9	13	7
Ba		122		167	48	254	73	74	35	181
V		16		111	83	70	97	118	67	7
La		5,26		2,97	1,48	5,22	2,86	3,3	1,26	8,4
Ce		11,5		6,98	4,99	11,5	6,8	8,5	4,1	17,9
Pr		1,71		0,95	1,04	1,46	0,93	1,2	0,81	2,28
Nd		7,05		4,49	7,14	6,5	4,48	5,8	5,7	9,95
Sm		1,72		1,37	3,2	1,92	1,36	1,9	2,45	2,81
Eu		0,49		0,79	0,69	0,36	0,64	0,6	1,03	0,92
Gd		2,07		2,25	4,52	2,49	2	2,2	3,72	4,02
Tb		0,3		0,38	0,68	0,35	0,33	0,4	0,57	0,61
Dy		1,94		2,52	4,28	2	2	2,6	3,35	3,51
Ho		0,38		0,6	0,94	0,43	0,45	0,6	0,75	0,77
Er		1,08		1,83	2,68	1,16	1,33	1,6	2,13	2,18
Tm		0,14		0,3	0,4	0,17	0,21	0,3	0,33	0,32
Yb		0,9		1,75	2,01	0,89	1,18	1,4	1,74	1,73
Lu		0,11		0,33	0,37	0,14	0,2	0,2	0,3	0,28
Th		0,34								
U		0,2								

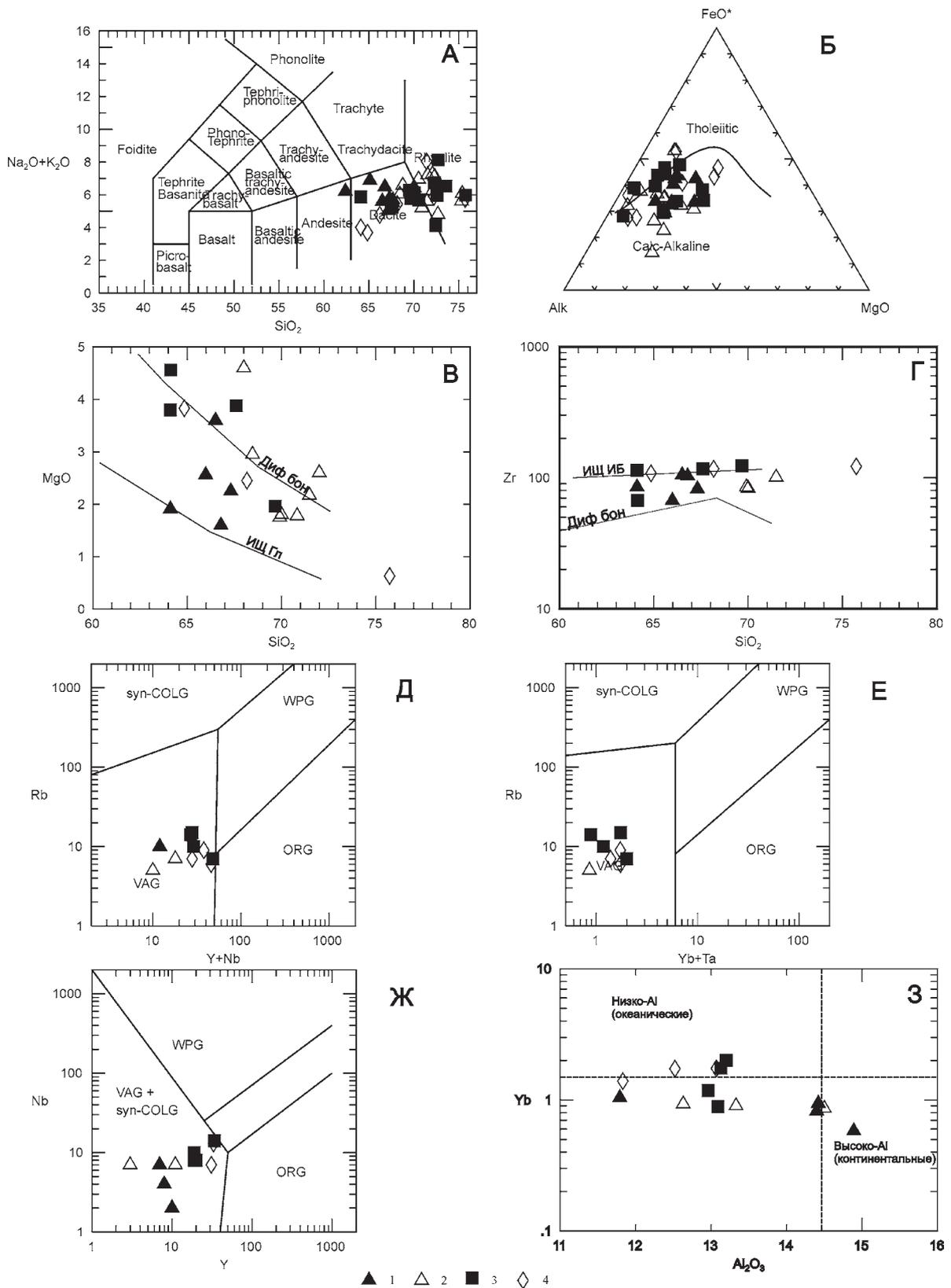


Рис. 1. Особенности распределения петрогенных оксидов и микроэлементов в кислых вулканитах и интрузивных породах верхнетаналыкского палеовулканического комплекса

1–2 — эффузивные породы: 1 — дациты, 2 — риодациты; 3 — субвулканические дациты и риодациты; 4 — интрузивные гранодиориты и плагриграниты. При построении диаграмм А, Б использованы авторские материалы и данные [Колчеданные..., 1973].

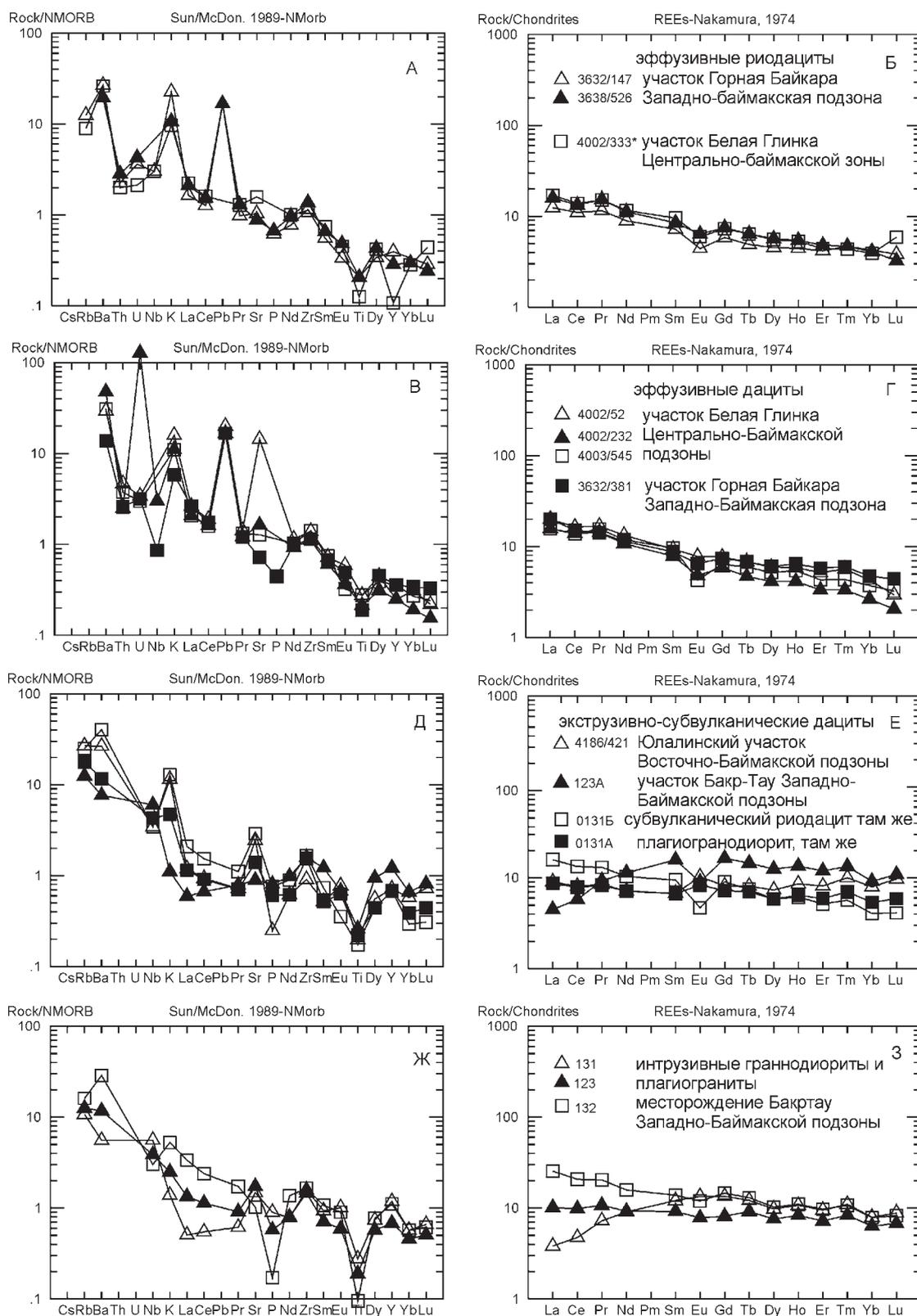


Рис. 2. Распределение микроэлементов, нормированных по N-MORB [San, McDonaugh, 1989] и редкоземельных элементов — по хондриту [Nakamura, 1974] в кислых вулканических, субвулканических и интрузивных породах Баймакского рудного района

А–Б — эффузивные дациты, В–Г — эффузивные риодациты, Д–Е — субвулканические дациты, риодациты, плагиогранодиориты, Ж–З — интрузивные гранодиориты и плагиограниты (авторские материалы).

завершающий верхнетаналькский цикл вулканизма, и комагматичными поздним экструзивно-субвулканическим кварцевым мегафирам.

По соотношениям количеств Rb с Y и Nb, Rb с Yb и Ta, Nb с Y [Pearce et al., 1984] фигуративные точки проанализированных кислых пород (рис. 1 Д, Е, Ж) располагаются в поле составов надсубдукционных вулканических дуг.

По концентрациям  $Al_2O_3$  и Yb (рис. 1 З) кислые эффузивные, субвулканические и интрузивные породы Баймакского рудного района занимают позицию, промежуточную между низкоглиноземистыми (океаническими) и высокоглиноземистыми (континентальными) трондьемитами [Арт, 1983]. Большая часть фигуративных точек на рассматриваемой диаграмме располагается в зоне низкоглиноземистых, и лишь в единичных случаях — высокоглиноземистых кислых пород. По содержаниям Yb, большинство фигуративных точек кислых пород Баймакского района располагается в поле составов, обедненных тяжелыми РЗЭ, меньшая часть точек попадает в область обогащенных Yb составов пород. Границу между полями обогащенных ТРЗЭ и обедненных ими Д.Г. Арт [1983] проводит на уровне концентраций Yb 1,5 г/т. Наиболее заметно обогащены Yb интрузивные породы плагиогранитного и гранодиоритового составов, в которых концентрации Yb варьируют от 1,4 до 1,74 г/т.

На спайдер-диаграммах РЗЭ (рис. 2) виден нисходящий от легких к тяжелым РЗЭ характер вариационных кривых, свидетельствующий об обогащении пород ЛРЗЭ и обеднении ТРЗЭ. Такой тип вариационных кривых выдержан и для эффузивных пород дацитового и риодацитового составов, для большей части экструзивно-субвулканических и интрузивных пород. Исключение составляет дацит субвулканический (123А, табл., рис. 2), на графике которого (рис. 2 Е) выделяется зона восходящих значений ЛРЗЭ — La, Ce, Pr, Nd, Sm и нисходящих значений ТРЗЭ — Gd — Yb. Состав пробы выделяется низкими концентрациями CaO (0,54%) и  $K_2O$  (0,08%), La (1,48 г/т), повышенными  $Na_2O$  (5,17%). Как отмечалось выше, наиболее вероятной причиной аномального состава данной пробы является интенсивная альбитизация плагиоклазов, сопровождающаяся выносом CaO и  $K_2O$ . Не исключено, что при перестройке кристаллической решетки плагиоклазов происходит и частичный вынос ЛРЗЭ. Вторая проба, имеющая сходный характер спайдер-диаграммы, представлена плагиогранодиоритом (табл., 131, рис. 2 З) с пониженным содержанием  $K_2O$  (0,2%). Распределение РЗЭ аналогично установленному в пробе 123А (рис. 2), охарактеризованной выше. Не исключено, что и процессы, которые привели к обеднению проб ЛРЗЭ, были аналогич-

ны. Следует отметить, что этот вывод к кислым породам Куянтауской антиклинали отношения не имеет, так как сведений о концентрациях РЗЭ по ним пока нет.

На спайдер-диаграммах порода/NMORB в большинстве случаев проявлены негативные аномалии Ti, Y, P, Nb, к которым нередко присоединяются U и Th, La, Ce, Pr. Во многих случаях (рис. 2 В, Д, Ж) присутствуют положительные геохимические аномалии K, Sr, Zr, Ba. Следует отметить, что негативные аномалии Nb в субвулканических и интрузивных породах проявлены слабее, что можно объяснить более высокими его концентрациями в этих породах (табл., рис. 1), по сравнению с эффузивными дацитами и риодацитами. В целом распределение нормированных значений петрогенных и микроэлементов на спайдер-диаграммах кремнекислых пород отражает сложный характер возникновения и эволюции всего фациального ряда кремнекислых пород, включающих процессы выплавления материнских магм, флюидную и кристаллизационную дифференциацию и постмагматические метаморфогенетические преобразования. Нельзя исключить, что заметные массы кремнекислых пород экструзивно-субвулканической и интрузивной фаций, имеющих заметное сходство с трондьемитами, могли возникнуть на завершающем этапе вулканического цикла, продуцировавшего верхнетаналькский вулканический комплекс, в связи с выплавлением кислых магм из амфиболизированной базальтовой нижней коры.

### Обсуждение материалов

В верхнетаналькском комплексе от основных пород к кислым установлено уменьшение количеств FeO, MgO, Cr, Ni, Sc, Cu, Zn, возрастание содержания  $K_2O$ , Zr, Ba, La, Sm,  $\Sigma$ РЗЭ, U, Th, F (см. табл.) при сохранении повышенной магнезиальности во всех типах пород. Анализ имеющихся материалов показывает тесную связь между всеми группами пород по кислотности, подчеркиваемую наличием переходных типов пород и появлением антидромных ритмов на фоне общей гомодромной эволюции. Величины изотопных отношений  $^{87}Sr/^{86}Sr$  в базальтах верхнетаналькского комплекса варьируют от 0,70446 до 0,70463, в кремнекислых породах — от 0,70297 до 0,70452 [Бобохов и др., 1989; Горожанин, 1991; Spadea et al., 2002; Серавкин и др., 2003], отношение  $^{143}Nd/^{144}Nd$  в базальтах составляет 0,51245 [Spadea et al., 2002]. Особую группу составляют породы, представленные серицитизированными кислыми породами либо серицит-хлорит-кварцевыми метасоматитами с вкрапленностью сульфидов по кварцевым риолитам и риодацитами [Серавкин

и др., 2003]. Значения  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  в этих породах варьируют от 0,70356 до 0,72814, концентрации Rb — от 1,4 мкг/г до 35,8 мкг/г. Между величинами  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  и концентрациями Rb обнаруживается положительная корреляция, что связывается с контаминацией вулканитов изотопом  $^{87}\text{Sr}$ , заимствованным из морской воды [Бобохов и др., 1989], присутствовавшей в гидротермальных флюидах.

Приведенные геологические и петролого-геохимические материалы свидетельствуют о генетическом единстве кислых пород верхнетаналькского комплекса Баймакского рудного района.

Однако пространственная обособленность экструзивно-субвулканических пород от эффузивно-пирокласто-тефроидных толщ и особенности химизма (рис. 1), выраженные в повышенных, по сравнению с эффузивами, содержаниях  $\text{SiO}_2$ , Zr, Y, Ta, Rb, Yb, позволяют интерпретировать это явление двояко. Во-первых, можно предполагать, что субвулканические и интрузивные породы являются продуктами дифференциации основных магм, исходных для верхнетаналькского комплекса. Второй вариант предполагает, что большие массы субвулканических и гиповулканических интрузивных пород по происхождению являются выплавками из амфиболизированной нижней коры. Этот генетический тип пород имеет широкое распространение в мире и рассматривается как продукт частичного плавления амфиболизированных основных пород в корнях островных дуг [Трондьемиты..., 1983].

### Выводы

1. Кислые породы Верхнетаналькского полифациального палеовулканического комплекса в большинстве своем принадлежат к магнезиальной известково-щелочной серии, так же как и более основные породы [Косарев и др., 2005].

2. Дайки гранодиорит-порфиоров и плагиогранитов, известные в Куянтауской антиклинали и в пределах тел интрузивных плагиогранодиоритов и гранитов Богачевского участка, обладающие повышенными содержаниями оксидов железа и низкими и умеренно-низкими концентрациями  $\text{K}_2\text{O}$ , скорее всего, являются поздней фазой кислого магматизма Верхнетаналькского комплекса. Подобный вариант хорошо увязывается с наличием в основании южно-ирендыкского комплекса в пределах Кунакайского вулкана (на правом берегу р. Таналык, около 10 км выше по течению от пос. Уфимского) толщи кремнекислых пород толеитовой петрогенетической серии [Косарев и др., 2005].

3. По соотношениям Rb, Y, Nb, Yb, Ta кислые породы верхнетаналькского комплекса располагаются в поле гранитоидов вулканических дуг надсуб-

дукционного типа. По соотношениям  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и Yb кислые породы риодацитового состава занимают позицию между низкоглиноземистыми океаническими и высокоглиноземистыми континентальными трондьемитами и дацитами, соответствующими умеренноглиноземистым трондьемитам, характерным для выплавок из амфиболизированных базитов в корневых зонах островных дуг.

### Литература:

**Арт Дж.Г.** Некоторые элементы-примеси в трондьемитах — их значение для выяснения генезиса магмы и палеотектонических условий // Трондьемиты, дациты и связанные с ними породы / Под ред. Ф. Баркера. — М.: Мир, 1983. — С. 99–105.

**Бобохов А.С., Горожанин В.М., Кузьмин С.А.** Стронциево-изотопные данные для кислых вулканитов Магнитогорского мегасинклинория Южного Урала: Препр. / АН СССР. Уральское отд. Башкирский науч. центр. Ин-т геологии. — Уфа, 1989. — 24 с.

**Бородаевская М.Б., Кривцов А.И., Курбанов Н.К., Ширай Е.П.** Некоторые вопросы структурно-формационного районирования палеовулканических колчеданосных областей // Вопросы палеовулканизма медноколчеданных провинций Южного Урала и Северного Кавказа. — М., 1970. — С. 3–19. — (Труды ЦНИГРИ; Вып. 92).

**Горожанин В.М.** Роль контаминации в происхождении кислых вулканитов Магнитогорского мегасинклинория // Микроэлементы в магматических, метаморфических и рудных формациях Урала / БНЦ УрО АН СССР. — Уфа, 1991. — С. 32–39.

Колчеданные месторождения Баймакского рудного района / П.Ф. Сопко, М.И. Исмаилов, И.Б. Серавкин, Л.Н. Сопко. — М.: Наука, 1973. — 224 с.

**Косарев А.М., Пучков В.Н., Серавкин И.Б.** Петролого-геохимические особенности раннедевонско-эйфельских островодужных вулканитов Магнитогорской зоны в геодинамическом контексте // Литосфера. — 2005. — № 4. — С. 22–42.

**Костина Р.И.** О возможных кислых дифференциатах базальтовых очагов раннегеосинклинальных контрастных формаций Магнитогорского мегасинклинория // Закономерности размещения полезных ископаемых Южного Урала. — Уфа: БФАН СССР, 1973. — С. 36–39.

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

**Серавкин И.Б.** Сульфидообразование в субмаринных эффузивно-экструзивных куполах кислого состава (на примере Южного Урала) // Докл. АН СССР. — 1981. — Т. 257, № 6. — С. 1433–1436.

**Серавкин И.Б.** Вулканизм и колчеданные месторождения Южного Урала. — М.: Наука, 1986. — 268 с.

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

**Серавкин И.Б., Косарев А.М., Горожанин В.М.** Изотопные отношения Rb и Sr и радиологический возраст

вулканогенных комплексов баймак-бурибаевской ( $D_{1e}$ ), ирендыкской ( $D_{2ef_1}$ ) и карамалыташской ( $D_{2ef}$ ) свит // Геологический сборник № 3 / ИГ УНЦ РАН. – Уфа, 2003. – С. 141–151.

Трондьемиты, дациты и связанные с ними породы / Под ред. Ф. Баркера. – М.: Мир, 1983. – 488 с.

**Фролова Т.И.** Геосинклиальный вулканизм. Некоторые проблемы размещения и происхождения вулканогенных формаций на примере восточного склона Южного Урала: Автореф. дис... д-ра геол.-мин. наук. – М., 1970. – 30 с.

**Pearce J.A., Harris N.B.W., Tindle A.G.** Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks // *Petrology*. – 1984. – V. 25, Is. 4. – P. 956–983.

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

**Spadea P., D'Antonio M., Kosarev A., Gorozhanina Y., Brown D.** Arc-continent collision in the Southern Urals: Petrogenetic aspects of the Forearc–arc Complex // *Mountain Building in the Uralides: Pangea to the Present*. – Geophysical Monograph. – 2002. – V. 132. – P. 101–134.

**Sun S.-S., McDonough W.F.** Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes // *Magmatism in ocean basins*. – London: Geol. Soc. Spec. Publ. – 1989. – No 42. – P. 313–345.

*Сведения об авторах:*

**Косарев Александр Михайлович**, Институт геологии Уфимского научного центра Российской академии наук (ИГ УНЦ РАН), г. Уфа. E-mail: amkosarev@mail.ru.

**Серавкин Игорь Борисович**, Институт геологии Уфимского научного центра Российской академии наук (ИГ УНЦ РАН), г. Уфа. E-mail: seravkin@ufaras.ru.

**Минибаева Карина Раисовна**, Институт геологии Уфимского научного центра Российской академии наук (ИГ УНЦ РАН), г. Уфа. E-mail: mkarina@mail.ru.

**Измайлова Алина Альтафовна**, Институт геологии Уфимского научного центра Российской академии наук (ИГ УНЦ РАН), г. Уфа. E-mail: chloe.v@mail.ru.

## GEOCHEMICAL FEATURES OF ACID ROCKS OF THE VERKHNY TANALYK PALEOVOLCANIC COMPLEX IN THE BAYMAK ORE DISTRICT

A. M. Kosarev, I. B. Seravkin, K. R. Minibaeva, A. A. Izmailova

**Kosarev Aleksandr Michailovich**, Institute of geology of the Ufimian scientific centre (IG USC RAS), Ufa, Russia. E-mail: amkosarev@mail.ru.

**Seravkin Igor Borisovich**, Institute of geology of the Ufimian scientific centre (IG USC RAS), Ufa, Russia. E-mail: seravkin@ufaras.ru.

**Minibaeva Karina Raisovna**, Institute of geology of the Ufimian scientific centre (IG USC RAS), Ufa, Russia. E-mail: mkarina@mail.ru.

**Izmailova Alina Altafovna**, Institute of geology of the Ufimian scientific centre (IG USC RAS), Ufa, Russia. E-mail: chloe.v@mail.ru.

**Abstract.** The acid rocks (dacite-rhyolite series of effusive, extrusive-subvolcanic and hypovolcanic facies) are closely associated with ores of massive sulfide deposits in the Baymak ore district. Most of the basic, intermediate and acid rock belong to magnesian calc-alkaline series. Part of Fe-rich, Na-rich intrusive rocks belong to the tholeiitic series, which is final in the acidic volcanism of the Baimak district.

**Keywords:** acid rocks, volcanism, facies, geochemistry, island arc.