

И.Б. Серавкин, А.М. Косарев, З.И. Родичева

## КРИТЕРИИ ОТЛИЧИЯ ВУЛКАНОГЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ ЗАПАДНОГО КРЫЛА МАГНИТОГОРСКОГО МЕГАСИНКЛИНОРИЯ ПО ГЕОЛОГИЧЕСКИМ, ПЕТРОХИМИЧЕСКИМ И ГЕОХИМИЧЕСКИМ ДАННЫМ

Установленные по различным данным критерии отличия разновозрастных вулканогенных комплексов связаны с эволюцией палеозойского вулканизма Южного Урала и обусловлены сменой геодинамических обстановок во времени и пространстве. Предыдущими работами авторов выяснены следующие обстановки проявления вулканизма, сформировавшего вулканогенные комплексы западного крыла Магнитогорского мегасинклинория: **континентальная рифтогенная, перерастающая в рифтогенную океаническую** (некоторые ордовикские комплексы Вознесенско-Присакмарской зоны), **субокеаническая** (ордовикские и силурийские комплексы той же зоны), **предостроводужная** (нижнедевонские комплексы нижней подсвиты баймак-бурибаевской свиты), **островодужная** (нижнедевонские комплексы верхней подсвиты баймак-бурибаевской свиты и нижнедевонско-эйфельские комплексы ирендыкской свиты) и **задугового бассейна** (эйфельские комплексы карамалыташской свиты (возраст свит приведен по международной шкале, в соответствии с датировками по конодонтам В.А. Маслова, О.В. Артюшковой [Вулканизм..., 1992; Маслов и др., 1993; Вулканогенная..., 1994; Серавкин, 1997; Серавкин и др., 2001]. Полученный в последнее время материал подтверждает разработанную авторами формационную схему, дополняя ее новыми данными, касающимися петрогенетических серий вулканитов.

Прежде чем рассмотреть установленные критерии отличия вулканогенных пород разновозрастных свит, суммируем основные выводы по геологическим соотношениям вулканогенных комплексов. Следует в первую очередь отметить, что породы карамалыташской свиты по сумме геологических, петрографических и петро-геохимических признаков хорошо отличаются от более ранних вулканогенных образований и, следовательно, не требуют разработки специальных критериев.

Критерии по петрографическим, фациальным, петрохимическим и геохимическим данным важны для отличия баймак-бурибаевских и ирендыкских вулканитов, принадлежащих, в целом, к различным формационным типам, но сформировавшихся в близких (островодужных) обстановках, что прежде всего относится к дифференцированным сериям вулканитов верхней (верхнетаналыкской) подсвиты баймак-бурибаевской свиты и комплексов ирендыкской свиты Южно-Ирендыкской подзоны (блока).

Основные геологические соотношения, выясненные при анализе конкретных разрезов, суммированы на рис. 1. Как видно на рис. 1А, отложения ирендыкской свиты хребта Ирендык, фациально замещающаяся вулканогенно-осадочными породами и постепенно выклиниваясь в западном направлении, залегают в пределах Таналыкской структурно-формационной зоны на баймак-бурибаевских отложениях в виде конденсированных разрезов — вулканогенно-осадочных толщ Богачевской, Шейнякской и Актауской синклиналей. Маркирующим горизонтом основания возрастных аналогов ирендыкской свиты в этих разрезах являются яшмоиды с конодонтами зоны *patulus*. Яшмоиды с аналогичными конодонтами подстилают и типично ирендыкские отложения хребта Ирендык (данные В.А. Маслова и О.В. Артюшковой, в печати).

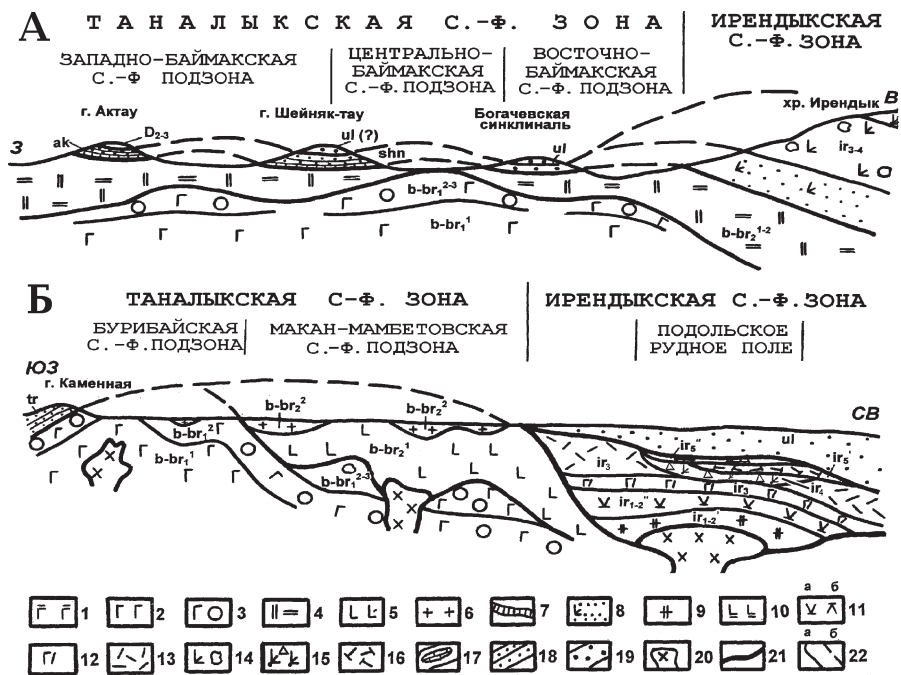
На поперечном разрезе Бурибай-Маканского рудного района (рис. 1Б) видно, что вулканогенные комплексы нижней (контрастной) и верхнетаналыкской (непрерывной) подсвит баймак-бурибаевской свиты и ирендыкской (сложно дифференцированной) свиты образуют три мощные линзы, смещенные друг относительно друга и наращивающие разрез в восточном направлении. Как и в разрезе через Баймакский рудный район, вулканогенные породы ирендыкской свиты к западу замещаются слоистыми вулканогенно-осадочными отложениями туратской толщи эйфельского возраста, залегающей на западном фланге Таналыкского поднятия, в разрезе горы Каменной.

На рис. 2 в условном схематическом виде изображен продольный разрез Таналыкской и Ирендыкской структурно-формационных зон, иллюстрирующий соотношения вулканогенных толщ в Северо- и Южно-Ирендыкском блоках. Сравнительно однообразное, в основном трехчленное строение ирендыкской свиты северного блока сменяется в южном блоке сложно дифференцированным комплексом пород, содержащим большие объемы кислых вулканитов. Вместе с тем, присутствие в Южно-Ирендыкском блоке толщи гибридных кварцевых андезитовидов ( $ir_{1-2}''$ ), залегающей в низах ирендыкского разреза, и известковистой (олигостромовой) «гадилевской» толщи ( $ir_5''$ ), венчающей разрез ирендыкской свиты, которые служат надежными маркирующими горизонтами, позволяет с уверенностью коррелировать аномальные по составу толщи ирендыкской свиты южного блока ( $ir_3-ir_4$ ) с типичными для всей ирендыкской свиты толщами северного блока

Рис. 1. Схематические поперечные разрезы через Таналыкскую и Ирендыкскую структурно-формационные зоны, показывающие соотношения баймак-бурибаевской и ирендыкской свит в Баймакском (А) и Бурибай-Мақанском (Б) рудных районах. Составил И.Б. Серавкин.

Условные обозначения к рис. 1, 2:

1–6 – баймак-бурибаевская свита (*Djets b-br*): 1–3 – нижняя подсвита (*b-br*<sub>1</sub><sup>1</sup>), 1 – нерасчлененные 1-я – 3-я толщи, 2 – нижняя диабазовая толща (*b-br*<sub>1</sub><sup>2</sup>), 3 – средняя спилит-вариолитовая (*b-br*<sub>1</sub><sup>2-3</sup>) и нерасчлененные средняя и верхняя (*b-br*<sub>1</sub><sup>2-3</sup>) толщи; 4–6 – верхняя подсвита (*b-br*<sub>2</sub>): 4 – нерасчлененные 1-я и 2-я толщи (*b-br*<sub>2</sub><sup>1-2</sup>), 5 – нижняя базальт-андезибазальтовая толща (*b-br*<sub>2</sub><sup>1</sup>), 6 – верхняя кислая толща (*b-br*<sub>2</sub><sup>2</sup>); 7–18 – ирендыкская свита (*D<sub>1</sub>–D<sub>2</sub>*): 7 – яшмы «майской толщи» (*ir*<sub>1</sub>), 8–11 – нерасчлененные 1-я и 2-я толщи (*ir*<sub>1-2</sub>): 8 – вулканогенно-осадочные породы, 9 – кислые породы (кварц-роговообманково-плагиоклазовые порфиры, туфы и вулканические брекчии), 10 – железистые андезиты, андезибазальты и толеитовые базальты Карсаклытауского палеовулкана, 11 – гибридные породы: а) кварцевые андезиты и андезибазальты, б) кварц-пироксен-роговообманково-плагиоклазовые риодациты, дациты и андезидациты, 12–13 – третья риолит-базальтовая толща (*ir*<sub>3</sub>): 12 – базальты и риолиты, 13 – кварцево-плагиоклазовые дациты и риодациты; 14 – нерасчлененные 3-я и 4-я толщи (*ir*<sub>3-4</sub>) – вулканические брекчии и эффузивы пироксен-плагиоклазовых базальтовых и андезибазальтовых порфиритов, 15 – 4-я толща (*ir*<sub>4</sub>) – субщелочные и высокоглиноземистые базальты и андезибазальты верхних горизонтов ирендыкской свиты, 16 – трахидацитовая толща (*ir*<sub>5</sub><sup>'</sup>), 17 – «гадилевская» известкостая (олистостромовая) толща, 18 – вулканогенно-осадочные «конденсированные» разрезы – возрастные аналоги ирендыкской свиты (актауская (*ak*), шейнякская (*shn*) и туратская (*tr*) толщи); 19 – отложения улугтауской свиты (*ul*); 20 – интрузивные породы габбро-плагиогранитного ряда; 21 – границы между свитами, подсвитами и контуры интрузивных тел; 22 – границы между толщами (а) и условные структурные линии (б)



(*ir*<sub>3-4</sub>). Закономерное место в верхах разреза ирендыкской формации занимают и субщелочные породы: основного, отчасти, среднего и кислого состава – в северном блоке и кислого состава – в Южно-Ирендыкской подзоне (см. толщи *ir*<sub>4</sub> и *ir*<sub>5</sub><sup>'</sup> на рис. 2).

Петрографические и фациальные критерии отличия пород баймак-бурибаевской и ирендыкской свит приведены в таблице 1.

**Петрохимические и геохимические критерии** наиболее отчетливо проявляются при сравнении состава базальтов разновозрастных вулканогенных комплексов (табл. 2). Они в большинстве случаев носят статистический характер. Это связано с тем, что в значительной части вулканических комплексов размах колебаний абсолютных значений концентраций отдельных окислов и некоторых малых элементов совпадает, а отличия заключаются в процентных соотношениях объемов главных петрохимических и геохимических типов вулканитов. Таблица 2 отражает главные отличия базальтов изученных вулканогенных формаций.

Базальты нижней и верхней подсвит баймак-бурибаевской свиты отличаются от своих аналогов (по основности), слагающих ирендыкскую свиту Северной подзоны, повышенными количествами MgO, Na<sub>2</sub>O, Ni, пониженными содержаниями TiO<sub>2</sub>,

K<sub>2</sub>O, CaO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Cu, Zr, Sr, Th, Y. Важно отметить, что почти во всех случаях составы базальтов верхнетаналыкской подсвиты занимают промежуточное положение между вулканитами нижней подсвиты баймак-бурибаевской свиты и ирендыкской свиты. Эти данные свидетельствуют о наличии эволюционного ряда составов вулканогенных пород от нижней подсвиты баймак-бурибаевской свиты (*b-br*<sub>1</sub>) к верхней (*b-br*<sub>2</sub>) и далее к ирендыкской свите. Особенности распределения относительно инертных компонентов (MgO, Cr, Ni, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Zr, Th, TiO<sub>2</sub>, Y) характеризуют первично магматический тренд эволюции составов, а содержания подвижных компонентов были изменены в большую, в связи с привнесением (SiO<sub>2</sub>, Na<sub>2</sub>O), или меньшую сторону, в связи с выносом (K<sub>2</sub>O, CaO, Cu, Sr) в ходе постмагматических процессов.

Базальты ирендыкской свиты Северо-Ирендыкской подзоны имеют ряд характерных черт. Наиболее важны для диагностики этой формации повышенные содержания CaO, K<sub>2</sub>O, Zr, Y, Sr как по отношению к нижележащим вулканическим толщам (*b-br*<sub>1-2</sub>), так и относительно вышележащей карамалыташской вулканической формации. Более высокие, по сравнению с другими формациями, значения имеют в базальтах ирендыкской свиты и величины *al'* и CaO/Na<sub>2</sub>O.

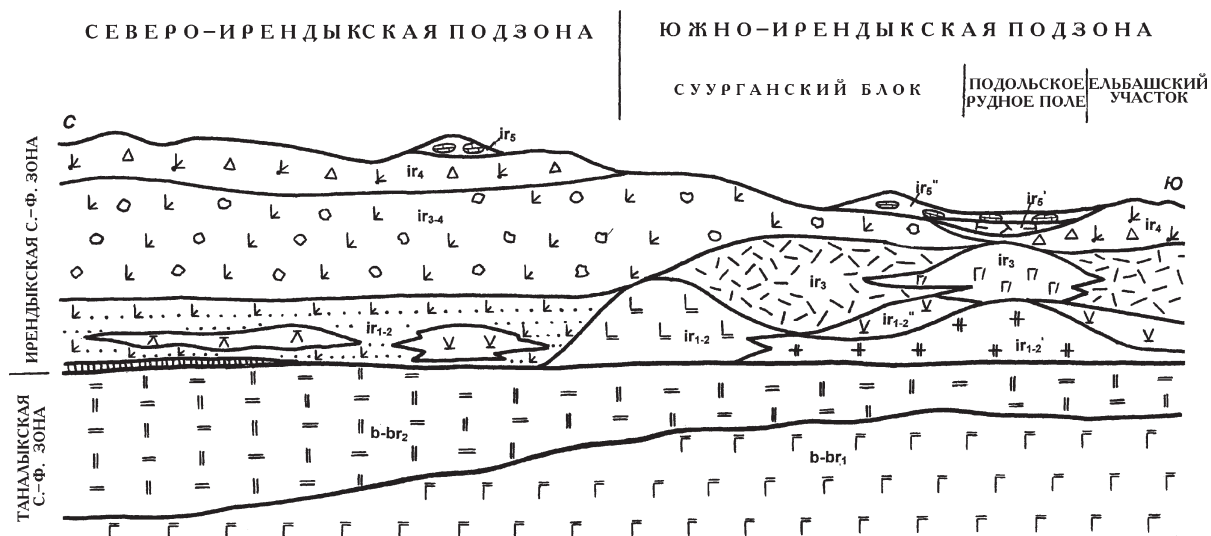


Рис. 2. Схематический продольный разрез, иллюстрирующий соотношения вулканогенных толщ ирландской свиты в Северо- и Южно-Ирландской структурно-формационных подзонах. Составил И.Б. Серавкин.

Условные обозначения см. на рис. 1

Базальты Южно-Ирландской подзоны занимают по особенностям состава промежуточное положение между основными породами (ir) Северо-Ирландской подзоны и базальтами карамалыташской свиты и, по ряду параметров, верхнетаманьской подсвиты. С базальтами Северо-Ирландской подзоны южноирландские сближают повышенная глиноземистость ( $Al'$ ), близкие содержания  $TiO_2$ ,  $FeO'$ ,  $MgO$ ,  $K_2O$ ,  $Cr$ ,  $Ni$ ,  $Y$ . Отличают эти комплексы повышенные концентрации в Южно-Ирландских базальтах  $Na_2O$  и  $Th$ , а также более низкие количества  $Cu$ ,  $Sr$  и пониженная величина отношения  $La/Yb$ .

При существенном сходстве базальтов Южно-Ирландской и Северо-Ирландской подзон, пониженные концентрации в некоторых типах вулканитов Южно-Ирландской подзоны  $MgO$ ,  $K_2O$  и ряда элементов-примесей ( $Cr$ ,  $Ni$ ,  $Zr$ ,  $Sr$ ,  $La$ ,  $Y$ ) позволяют относить их к толеитовой серии, тогда как большая часть вулканитов Северо-Ирландской подзоны принадлежит к известково-щелочной серии.

Базальты карамалыташской свиты являются типичными представителями толеитовой островодужной серии. Они обнаруживают сходство лишь с базальтами ирландской свиты Южно-Ирландской подзоны, отличаясь от последних более высокими концентрациями  $FeO'$ ,  $Cu$ ,  $V$  и пониженными содержаниями  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $K_2O$ ,  $Cr$ ,  $Ni$ ,  $Zr$ ,  $Sr$  и  $Th$ . С рудоносными комплексами вулканитов баймак-бурибаевской свиты ( $b-br_{1-2}$ ) карамалыташские базальты объединяет низкая калиевоность, слегка пониженные концентрации  $CaO$  и более высокие, чем в ирландских базальтах, содержания  $Na_2O$ .

Андезибазальты и андезиты изученных формаций, будучи производными базальтовых или пикробазальтовых расплавов соответствующих

формаций, имеют тот же характер отличий и сходств, что и базальты.

Среди кремнекислых пород баймак-бурибаевской, ирландской и карамалыташской свит присутствуют 3 главных петрохимических и геохимических типа: 1 — железистые дациты роговообманково-плагиоклазовые толеитовой серии; 2 — дациты, риодациты кварц-(пироксен)-роговообманково-плагиоклазовые, переходные между толеитовой и известково-щелочной сериями; 3 — трахиандезидациты, трахидациты, риодациты и риолиты (биотит)-роговообманково-плагиоклазовые известково-щелочной калиево-натриевой серии, переходной к субщелочной.

Дациты толеитовой серии — Куянтауский участок ( $b-br_1$ ), г. Кунакай ( $b-br_2$ ), участок Белая глина ( $b-br_2$ ), Ахметузякский палеовулкан ( $ir_4$ ), Карамалыташская антиклиналь ( $kr_2$ ) — характеризуются низкими содержаниями  $K_2O$ ,  $Zr$ ,  $Rb$  и повышенными концентрациями  $Cr$ ,  $V$ ,  $Cu$ .

Кремнекислые породы состава от дацитов до риолитов переходной от толеитовой к известково-щелочной серии преобладают в эффузивно-экструзивно-субвулканических фациальных комплексах баймак-бурибаевской ( $b-br_1$ ,  $b-br_2$ ), ирландской ( $ir_{1,3}$ ) свит Подольского рудного поля и Суурганского участка, и в карамалыташской свите ( $kr_2$ ) Карамалыташской антиклинали и Сибайского рудного поля. Для этих пород характерны широкие колебания концентраций  $K_2O$  и величины  $FeO'/MgO$ , умеренные концентрации  $Zr$ ,  $La$ ,  $FeO'$ .

Кислые породы состава андезидацитов и трахидацитов до риолитов известково-щелочной, переходной к субщелочной серии известны в Южно-ирландской подзоне на Подольском рудном поле ( $ir_5$ ). Для этих пород обычен широкий диапазон колебаний  $K_2O$ ,  $Na_2O$  от калиево-натриевых до низкокалиевых

Таблица 1

## Петрографические и фациальные критерии отличия вулканитов баймак-бурибаевской и ирендыкской свит

КРИТЕРИИ		СВИТЫ	
		Баймак-бурибаевская	Ирендыкская
Петрографические	Характерные преобладающие породы	Основные	Пироксен-плагиоклазовые андезибазальтовые и базальтовые порфириты
		Средние	Кварц-пироксен-плагиоклазовые и кварц-пироксен-роговообманково-плагиоклазовые порфириты
		Кислые	Кварц-пироксен-роговообманково-плагиоклазовые порфиры
		Характерные структуры	Среднепорфировые до мегафировых
Фациальные	Соотношение эффузивных и пирокластических пород Роль вулканогенно-осадочных пород Условия накопления	Преобладание эффузивных пород	Преобладание пирокластических пород
		Резко подчиненная	Значительная
		От глубоководных до мелководных	От мелководных до наземных

Таблица 2  
Средние составы петрогенных окислов (% масс.) и некоторых элементов-примесей (г/т) в базальтах баймак-бурибаевской, ирендыкской и карамалыташской свит

№ п/п	Индекс свиты	N	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO'	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	al'	f'
1	b-br <sub>1</sub> <sup>1-2</sup>	38	52,5	0,49	14,25	7,9	0,16	9,4	6,25	4,3	0,35	0,81	18,8
2	b-br <sub>2</sub> (vtn)	46	51,1	0,55	15,46	8,6	0,18	8,21	6,15	3,32	0,68	0,92	17,3
3	ir	38	51,0	0,63	16,1	9,0	0,14	6,31	8,49	2,63	0,95	1,02	16,3
4	ir	31	48,3	0,52	16,23	9,6	0,16	6,44	7,09	3,38	0,87	1,0	16,76
5	kr	35	49,7	0,62	15,0	11,2	0,16	6,9	7,57	3,1	0,36	0,81	19,0

№ п/п	индекс	N	CaO/Na <sub>2</sub> O	FeO'/MgO	Cu	Cr	Ni	Zr	Y	La/Yb	V	Sr	Th
1	b-br <sub>1</sub>	38	1,45	0,84	28	270	139	66	9,9	1,89	225	125	0,5
2	b-br <sub>2</sub> (vtn)	46	1,85	1,0	41	162	79	59	8,3	4,4	295	195	0,5
3	ir	38	3,23	1,39	110	273	56	94	17	3,18		295	0,76
4	ir	31	2,1	1,49	51	222	42	48	13	1,2	299	182	1,42
5	kr	35	2,44	1,6	121	56,2	34	32	12	1,19	328	97	0,11

Примечание: 1 – Таналыкский разрез, 2 – Таналыкское поднятие, 3 – Северная подзона, 4 – Южная подзона, 5 – Карамалыташская антиклиналь; b-br<sub>1</sub><sup>1-2</sup> – нижняя подзона баймак-бурибаевской свиты, b-br<sub>2</sub> (vtn) – верхняя (верхнетаналыкская) подзона баймак-бурибаевской свиты, ir – ирендыкская свиты, kr – карамалыташская свиты.



натриевых составов, повышенные концентрации Sr, Zr, La, U, Th, низкие концентрации V.

**Критерии отличия вулканогенных комплексов по редкоземельным элементам** вытекают из особенностей их распределения в вулканитах. РЗЭ являются относительно инертными при метаморфизме, хотя при интенсивном метасоматозе происходит их вынос из породы, особенно — легких лантаноидов. В целом, РЗЭ — достаточно надежные индикаторы типа породы и ее сериальной принадлежности. Наиболее значительное влияние на уровень содержания лантаноидов и их распределение оказывают отношения оксидов железа и магния, глиноземистость и суммарная щелочность вулканитов, определяющие принадлежность вулканита к определенному петрохимическому типу и петрогенетической серии.

Установлено, что все типы пород *баймак-бурибаевской свиты* характеризуются относительно низкими содержаниями РЗЭ. Отношение порода / хондрит в большинстве проб находится в пределах: для La и Ce — от 3–12 до 20–30, для Yb и Lu — от 2–7 до 3–15. В разнообразных по составу вулканитах *ирендыкской свиты*, в целом, содержания РЗЭ значительно выше; для La отношение порода / хондрит варьирует от 4–6 до 58–100. В базальтах *карамалыташской свиты* это отношение не поднимается выше 10. Однако в баймак-бурибаевской и ирендыкской свитах вариации содержаний РЗЭ и отношений легких и тяжелых лантаноидов определяются большим разнообразием типов пород, входящих в эти свиты. Поэтому надежные критерии различия вулканогенных комплексов могут быть получены при сравнении стилия кривых распределения РЗЭ в определенных типах пород и сопоставлении общей эволюции состава формаций, выражающейся в развитии различных петрохимических серий вулканитов. В различных толщах *баймак-бурибаевской свиты* проявились следующие типы распределения РЗЭ: 1) с близким уровнем содержания легких и тяжелых лантаноидов, отвечающим стандарту толеитов СОХ; характерен для массивных базальтов нижней толщи ( $b-br_1^1$ ); 2) с обеднением породы легкими и, отчасти, тяжелыми лантаноидами по отношению к Sm и Gd и отрицательной Eu-аномалией; отмечается в пиллоу-базальтах повышенной магнезиальности нижней подсвиты ( $b-br_1^2$ ); 3) с умеренным обогащением легкими лантаноидами по отношению к промежуточным и тяжелым; этот тренд приближается к стандарту известково-щелочных пород островных дуг; такой стиль кривых распределения РЗЭ проявлен в различных по кислотности породах контрастной толщи нижней подсвиты ( $b-br_1^3$ ) и в разнообразных по составу вулканитах верхней подсвиты ( $b-br_2$ ).

Для *ирендыкской свиты* выявлено 4 главных типа распределения РЗЭ: 1) с весьма высоким (отношение порода / хондрит до 100) и высоким (отношение порода / хондрит до 40) обогащением

легкими лантаноидами, свидетельствующим об отчетливо проявленной известково-щелочной тенденции; присутствует в базальтах, андезибазальтах и андезитах с преобладанием железа над магнием и повышенными содержаниями  $Al_2O_3$ ; 2) с умеренным обогащением легкими РЗЭ, отмечающийся в гибридных кварцевых андезитах; 3) с широкими вариациями содержаний легких и низкими концентрациями тяжелых лантаноидов, близкий к стандарту магнезиальных базальтов; проявлен в пироксен-плаггиофировых и пироксенофировых базальтах; 4) с близким уровнем содержания всех РЗЭ, характерный для толеитового тренда; типичен для железистых базальтов и андезибазальтов.

Базальты и кислые вулканиты *карамалыташской свиты* характеризуются плавным обогащением средними и тяжелыми РЗЭ по отношению к легким или одинаковым уровнем содержания всех лантаноидов, что соответствует распределению РЗЭ в толеитах СОХ и окраинных морей. Основные черты эволюции вулканизма риолит-базальтовой баймак-бурибаевской и андезито-базальтовой ирендыкской формаций, выясненные на основании распределения РЗЭ, заключаются в смене толеитовой серии — магнезиальной, известково-щелочной и субщелочной (последней — в ирендыкской формации). Вместе с тем, на некоторых стадиях развития вулканизма проявлялось одновременно несколько серий, что особенно характерно для ирендыкской формации. Содержания РЗЭ в вулканитах разных петрогенетических серий показаны в табл. 3.

Кислые вулканиты обеих формаций слабо различаются по РЗЭ, что, по-видимому, связано с унаследованным развитием магматизма Южно-Ирендыкской подзоны.


**Критерии отличия вулканогенных комплексов на основании изучения состава клинопироксенов.** Клинопироксены несут важную информацию о составе остывающего магматического расплава и физико-химических процессах его кристаллизации. Вместе с тем, эти минералы дают надежные критерии для корреляции и установления отличий вулканических комплексов. Выяснено, что пироксены из пород баймак-бурибаевской, ирендыкской и карамалыташской свит существенно различаются по составу и эволюционным трендам составов, возникавших в процессе кристаллизации и образования зональности кристаллов.

*Пироксены* толщи пиллоу-базальтов *баймак-бурибаевской свиты* ( $b-br_1^2$ ) являются наиболее высококальциевыми и образуют ряды диопсид — салит и диопсид — эндиопсид, в которых составы вкрапленников клинопироксена меняются, главным образом, за счет изменения соотношений Ca — Mg. Некоторая часть пироксенов имеет состав высококальциевых низкожелезистых авгитов.

Таблица 3

Соотношения формационных типов и петрохимических серий в разновозрастных вулканогенных комплексах западного крыла Магнитогорского мегаинклинория (составил И.Б. Серавкин)

Формационные ряды	Возраст	Стратиграфические индексы	Формации (ф.), субформации (с.ф.)	Петрохимические серии по данным содержания РЭЭ																			
				Т	М	ИЩ	СЩ	Т	М	ИЩ	СЩ												
II ф. ряд	D <sub>2</sub> e	kr <sub>2</sub> kr <sub>1</sub>	Контрастная ф.	10-13																			
			Базальтовая ф.	3-10																			
I формационный ряд	D <sub>1</sub> -D <sub>2</sub> e	ir <sub>5</sub> ir <sub>4</sub> ir <sub>3</sub> ir <sub>1-2</sub> b-br <sub>2</sub> b-br <sub>1</sub> <sup>3</sup> b-br <sub>1</sub> <sup>2</sup> b-br <sub>1</sub> <sup>1</sup>	Ирендыкская с.-ф. зона	Ирендыкская зона																			
			Подольское рудное поле	Подольское рудное поле																			
			К-На андезитобазальтовая с.ф.	12 -	17			12	58-100													25-90	
			Андезито-базальтовая ф.																				
			Андезито-базальтовая с.ф.																				
			Контрастная с.ф.																				
			Гибридная риодацит-андезитобазальтовая с.ф.	4 -	6																		
			Непрерывная с.ф.	3 -	17																		
			Контрастная с.ф.																				
			Базальтовая с.ф.	5 -	10																		
S(?)		sk	Базальтовая ф.	4 - 10																			
			Базальтовая ф.	8 - 16																			

 Ведущее проявление петрохимической серии  
 Редуцированное проявление петрохимической серии  
 Цифры – отношения порода / хондрит для La и Ce  
 Сокращенные названия петрохимических серий: Т – толеитовая, М – магнетитовая, ИЩ – известково-щелочная, СЩ – субщелочная.

Характерным для пироксенов магнезиальных пиллоу-базальтов является присутствие салитовых составов, нигде более не отмечающихся, а также тенденция роста магния без изменения содержания железа. Пироксены дифференцированных толщ баймак-бурибаевской свиты ( $b-br_1^3$  и  $b-br_2$ ), по сравнению с предыдущими, содержат меньше Са и больше Fe, но их составы не слишком отличаются от составов пироксенов толщи  $b-br_1^2$ : большинство фигуративных точек лежит в области сочленения полей диопсида, эндиопсида и авгита. Присутствуют 2 типа трендов изменения составов: I (преобладающий) — рост количества Fe за счет уменьшения содержаний Mg; II — одновременное увеличение содержаний Fe и Mg за счет уменьшения содержаний Са.

*Пироксены ирендыкской свиты* изучены в породах Суурганского блока Южно-Ирендыкской подзоны и в вулканитах Северо-Ирендыкской подзоны. Составы пироксенов Суурганского блока очень близки к составам пироксенов дифференцированных толщ баймак-бурибаевской свиты, несколько отличаясь от них присутствием более железистых разновидностей и лучше выраженными железистыми трендами изменения составов, что хорошо увязывается с толеитовым типом пород Карсаклытауского палеовулкана, установленным по другим данным.

Пироксены «типично ирендыкских» базальтов и андезибазальтов Северо-Ирендыкской подзоны значительно отличаются от пироксенов из пород Южно-Ирендыкской подзоны и баймак-бурибаевской свиты. Их химический состав широко варьирует от диопсида — кальциевого эндиопсида до железистого и субкальциевого авгита. Тренд дифференциации состава минералов характеризуется увеличением железистости с параллельным уменьшением содержаний Mg и Са.

В целом, результаты изучения состава пироксенов свидетельствуют об эволюции расплавов от высокомагнезиальных к известково-щелочным в период формирования баймак-бурибаевской и ирендыкской свит и о смене предостроводужных условий островодужной обстановкой.

*Пироксены карамалыташской свиты* отличаются от аналогичных минералов баймак-бурибаевской и ирендыкской свит принадлежностью к умеренно железистым и железистым авгитам, что соответствует толеитовой серии задугового бассейна.

**Критерии отличия вулканогенных комплексов по изотопии Rb и Sr.** Как показали выполненные измерения и обобщение данных предыдущих исследователей, в целях корреляции вулканогенных комплексов и определения их абсолютного возраста применение изотопных отношений  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  и  $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$  имеет ограниченное значение. Это связано со значительными вариациями содержаний Rb и Sr в породах, зависящими от вторичных преобразований вулканитов. Широко распространенные

метасоматические процессы приводили к извлечению из пород Са, К, Na, Rb, Sr и в некоторых случаях, вероятно, являлись причиной искажения первичных изотопных отношений Rb и Sr и омоложения абсолютного возраста пород. Для целей корреляции вулканогенных комплексов определенное значение имеют первичные отношения  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  (IR). Так,  $IR_{\text{ср}} \text{ Sr}$  закономерно возрастают от баймак-бурибаевской (0,7038) к ирендыкской (0,7043) и карамалыташской (0,7045) свитам [Бобохов, 1994]. Вместе с тем, по приведенным данным А.С. Бобохова и другим источникам, интервалы вариаций IR Sr велики и перекрывают друг друга для разновозрастных формаций. Измеренные отношения  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  в близких по возрасту и геодинамическим условиям образования формациях практически не отличаются. Например, в островодужных формациях — баймак-бурибаевской ( $D_1\text{ems}$ ) и ирендыкской ( $D_1-D_2\text{e}$ ) измеренные отношения  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  составляют соответственно 0,70356–0,70752 и 0,70309–0,70798.

**Формационные и петрогенетические критерии** отличия рассматриваемых вулканогенных комплексов суммированы в таблице 4. При выделении петрогенетических серий учитывались общегеологические, петрографические, петрохимические и геохимические данные и результаты изучения распределения РЗЭ. Следует подчеркнуть, что выводы о серийной принадлежности вулканитов, полученные независимо по разным группам элементов — петрогенным окислам, элементам-примесям и РЗЭ — во всех случаях совпали. Для некоторых комплексов, например, ордовикского (?) трахибазальтового, петрохимические и геохимические данные являются более полными, чем данные по РЗЭ: первые позволяют выделить толеитовую и субщелочную серии, вторые — только толеитовую.

Полученные нами результаты, в целом, показывают, что формационный анализ, с успехом применявшийся российскими петрологами, в сочетании с выделением петрохимических (петрогенетических) серий вулканических пород, в основном используемых зарубежными исследователями, дают хорошие результаты, позволяя более обоснованно судить об эволюции вулканизма и геодинамических обстановках его проявления. Показательно, что определенная магматическая (в данном случае, вулканогенная) формация содержит вулканиты нескольких петрогенетических серий, которые развивались отчасти параллельно, но в целом последовательно, образуя закономерные пространственно-возрастные ряды. 2 таких ряда установлены для наиболее детально изученных баймак-бурибаевской и ирендыкской формаций. Формационное расчленение палеозойских вулканогенных комплексов Южного Урала было выполнено нами ранее [Вулканизм..., 1992] и приведено в табл. 4 без существенных изменений.



Соотношения петрогенетических серий вулканитов с формационными типами вулканогенных комплексов

Возраст	Формация	Субформа-ция	Свига	Толща	Петрогенетические серии						
					Т	М	МИЩ	ИЩ	ГИЩ	СЩ	
D <sub>2</sub> e	Базальт-риолитовая	Контрастная	kr	kr <sub>2</sub>							
		Базальтовая		kr <sub>1</sub>							
D <sub>1ems</sub> -D <sub>2</sub> e	Андезит-базальтовая (порфиритовая)	Трахиандезитбазальт-трахидацитовая	ir	ir <sub>4</sub>							
		Андезит-базальтовая		ir <sub>3-4</sub>							
		Контрастная		ir <sub>3</sub>							
		Гибридная непрерывная		ir <sub>1-2</sub>							
D <sub>1ems</sub>	Риолит-базальтовая	Непрерывная	b-br	b-br <sub>2</sub>							
		Контрастная		b-br <sub>1</sub> <sup>3</sup>							
		Базальтовая		b-br <sub>1</sub> <sup>2</sup>							
				b-br <sub>1</sub> <sup>1</sup>							
S (?)	Натриевых базальтов	sk									
O (?)	Трахибазальтовая		pl ?								

**Примечание.** Петрогенетические серии: Т – толеитовая, М – магнезиальная, МИЩ – магнезиальная известково-щелочная, ИЩ – известково-щелочная, ГИЩ – высокоглиноземистая известково-щелочная, СЩ – субщелочная. Свиты: pl – поляковская, sk – сакмарская, b-br – баймак-бурибаевская, ir – ирендыкская, kr – карамалыташская.

Ряд петрогенетических серий риолит-базальтовой (баймак-бурибаевской) формации открывается серией толеитовых базальтов, которые пространственно сочетаются с базальтами магнезиального

типа. Наиболее широкое развитие магнезиальная серия (или серия магнезиальных базальтов – бонинитов) получила в спилит-вариолитовой толще (b-br<sub>1</sub><sup>2</sup>). В породах вышележащей толщи

баймак-бурибаевской свиты магнезиальные тенденции сочетаются с известково-щелочными, и на уровне третьей толщи ( $b-b\gamma_1^3$ ) выделяются две петрохимические серии: магнезиальная известково-щелочная и собственно известково-щелочная. В непрерывной субформации преобладают известково-щелочные породы всех типов вулканитов по содержанию  $SiO_2$ , но в редуцированном виде проявляются также толеитовая и магнезиальная известково-щелочная тенденции. Таким образом, эволюция магматических расплавов баймак-бурибаевской формации выразилась в параллельно-последовательной смене пород толеитовой серии магнезиальными, магнезиальными известково-щелочными и известково-щелочными вулканитами. Названный набор петрогенетических типов пород и их серий характерен для современных предостроводужных и ранних островодужных обстановок.

Ряд петрогенетических серий ирендыкской формации, по сравнению с предыдущим, является более широким и более «продвинутым». Как и баймак-бурибаевский, ирендыкский ряд открывается толеитовой серией пород, к которой принадлежат широко распространенные в ирендыкской формации пироксен-плагиоклазовые андезит-базальты. Наряду с ними, некоторые палеовулканы извергали продукты магнезиальной известково-щелочной и известково-щелочной серий. Завершающие этапы ирендыкского вулканизма характеризовались формированием высокоглиноземистых известково-щелочных и субщелочных пород. Судя по установленным петрогенетическим сериям, ирендыкская формация соответствует островной дуге, претерпевшей стадии эволюции от юной до развитой.

Базальты и кислые породы карамалыташской базальт-риолитовой формации соответствуют толеитовой петрогенетической серии. В северных районах Магнитогорского мегасинклинория, по данным Т.Н. Сурина [1992], в этой формации сочетаются толеитовая (базальты) и известково-щелочная (часть кислых пород) петрохимические серии. Но по нашим данным, ограниченным в отношении кислых вулканитов, имеет место только толеитовый тренд.

Суммируя данные проведенных работ, можно констатировать: по совокупности геологических, петрографических, петрохимических и геохимических критериев баймак-бурибаевская, ирендыкская и карамалыташская формации достаточно четко отличаются друг от друга. Наличие маркиру-

ющих горизонтов, в особенности, фаунистически охарактеризованного яшмового горизонта в основании ирендыкской свиты, не позволяет относить дифференцированные по составу толщи баймак-бурибаевской свиты (в традиционном понимании ее объема) к ирендыкской свите. Такой корреляции, осуществленной А.А. Захаровым [1978 г.], противостоят не только геологические, но и все петрографические, петрохимические и геохимические материалы, полученные авторами в последний период и предыдущие годы. Принадлежность дифференцированного комплекса вулканогенных пород к баймак-бурибаевской, а не к ирендыкской свите, подтверждается также статистическим многомерным анализом, показавшим сходство основных пород непрерывной и контрастной субформаций и их значимые отличия от основных пород ирендыкской формации, установленные на основании критерия Стьюдента.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке программы MinUrals № ICA-2-СТ-2000-010011.

#### *Литература:*

**Бобохов А.С.** Эволюция палеозойского магматизма Южного Урала по геохимическим и изотопным данным и проблема формирования континентальной коры: Препринт доклада Президиуму Уфимского научного центра РАН. Уфа, 1994. 44 с.

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

**Вулканогенная** металлогения Южного Урала / И.Б. Серавкин, С.Е. Знаменский, А.М. Косарев и др. М.: Наука, 1994. 160 с.

**Маслов В.А., Черкасов В.Л., Тищенко В.Т. и др.** Стратиграфия и корреляция вулканогенных комплексов основных медноколчеданных районов Южного Урала. Уфа: УфНИЦ РАН, 1993. 216 с.

**Серавкин И.Б.** Тектоно-магматическая зональность Южного Урала и его положение в складчатых системах Урало-Монгольского пояса // Геотектоника. 1997. № 1. С. 32–47.

**Серавкин И.Б., Знаменский С.Е., Косарев А.М.** Разрывная тектоника и рудоносность Башкирского Зауралья. Уфа: Полиграфкомбинат, 2001. 318 с.

**Сурин Т.Н.** Раннеживетский контрастный вулканизм Учалино-Александринской зоны (Южный Урал): петрология, геохимия и связь с ним колчеданного рудообразования. Автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук / ЛГУ. Санкт-Петербург, 1992. 16 с.