УДК 552.323.5 DOI: 10.23671/VNC.2018.2.13925

ОСНОВНЫЕ ПОРОДЫ СРЕДНЕЮРСКОГО ЗАДУГОВОГО ДАЙКОВОГО ПОЯСА БОЛЬШОГО КАВКАЗА (ГЕОХИМИЯ, ВОПРОСЫ ПЕТРОГЕНЕЗИСА И ГЕОДИНАМИЧЕСКАЯ ТИПИЗАЦИЯ)

© 2018 В.М. Газеев^{1, 2}, к. г.-м. н., А.Г. Гурбанов^{1, 2}, к. г.-м. н., И.А. Кондрашов¹

¹ФГБУН Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук, Россия, 119017, г. Москва, Старомонетный пер., 35;

²ФГБУН Федеральный научный центр «Владикавказский научный центр РАН», Россия, 362027, РСО-Алания, г. Владикавказ, ул. Маркуса, 22, e-mail: ag. gurbanov@iyandex. ru

Севернее главного надвига Большого Кавказа распространены постскладчатые (постааленские) дайки пород основного состава. Проведено петрографическое и геохимическое изучение этих пород. Приведены результаты их анализа методами *RFA*, *ICP-MS*. Показано, что исходные расплавы образованы при 3-15 процентном плавлении шпинелевого перидотита. Высокое содержание *Al*₂O₃ заметное обогащение *LILe*, *LREE*, *MREE* и негативные аномалии *Ta*, *Nb*, *Zr*, *Hf* позволяют считать их субдукционными образованиями. Повышенные, по сравнению с эталонами субдукционных базальтов, содержания *TiO*₂ характеризуют эти основные по составу породы как образовавшиеся в условиях задугового растяжения, что соответствует их предполагаемой геодинамической позиции.

Ключевые слова: Большой Кавказ, дайковый пояс, субдукционные базальты, петрография; геохимия, геодинамические реконструкции, задуговые структуры растяжения.

Введение

Постскладчатые (постааленские) дайки основного состава, распространенные севернее Главного надвига Большого Кавказа (БК), местами внедрившиеся в краевую часть Бзыбско-Казбекской тектонической зоны, в настоящее время выделяются как «дайковый пояс Большого Кавказа» (ДПБК). Область его распространения находится в высокогорной части Кавказского хребта. Прослеживается он в виде полосы шириной до 20 км от истоков р. Пшехи и верховьев р. Белой на западе, до рек Ахтычай и Усухчай на востоке. Предполагается, что дайковый пояс маркирует собой среднеюрскую задуговую структуру растяжения (рис. 1) и, что он связан с байосским максимумом тектоно-магматической активизации (ТМА). Одним из результатов байосской ТМА является «порфиритовая серия» Закавказья – главная составляющая вулканической, энсиалической островной дуги в этой части субдукционной окраины Тетиса [Ломизе, Суханов, 2006]. На основании изучения современных окраинных морей и их древних аналогов, считается, что растяжение в тылах островных дуг носит кратковременный импульсный характер. Активизация здесь происходит спустя 15-20, а иногда и 40 млн. лет, после начала проявления островодужного вулканизма, который к этому времени затухает. Тыловодужный петрогенезис характеризуется широким спектром магматических пород. В бассейнах с корой океанического типа доминируют базальтоиды, в бассейнах с континентальной ко-



Рис. 1. Вероятная геодинамическая обстановка и положение дайкового пояса БК в пределах среднеюрской (байос-бат) активной континентальной окраины океана Тетис [по Ломизе, Суханов. 2006]



а. Структура диабазо-офитовая (Д 2,9 мм)



б. Структура диабазовая (Д 2,9 мм)



в. Структура порфировая, основная масса микродиабазовая (Д 2,9 мм)



г. Пойкилитовая внутренняя структура моноклинного пироксена (Д 2,9 мм)

Рис. 2. Микрофотографии пород

рой, наряду с породами основного состава широко представлены кислые по составу разновидности. На начальной стадии здесь иногда отмечаются бонинитовые расплавы, которые по мере развития спрединга сменяются толеитовыми базальтами [Абрамович и др., 1997]. Детальные исследования магматизма в типичных задуговых бассейнах показали, что нет специфического типа магм для этой геодинамической обстановки. В целом, базальты задуговых бассейнов имеют тенденцию обладать промежуточными составами между *N-MORB* и островодужными толеитами [Короновский, Демина, 2011; Туркина, 2014].

В этой статье рассматриваются результаты петрографического и геохимического изучения предположительно постскладчатых (постааленских) основных пород, залегающих преимущественно в виде даек в гранитно-метаморфическом цоколе центрального сегмента БК и частично в терригенных отложениях среднеюрского возраста.

Фактический материалы и методы его исследования

Материалом для исследования послужили образцы собранные авторским коллективом в разные годы (1990-2015) из даек основного состава, распространенных в зоне Главного хребта БК, в верховьях рек Азау, Адырсу, Баксан, Кору, Чегем, Черек Безенгийский, Цейдон, Ардон, а на западном Кавказе – в верховьях рр. Мзымты и Кодори. При финансовой поддержке НИР (НИОКТР тема №АААА-А17-117060910044-5) ВНЦ РАН из собранных образцов изготовлены шлифы и проведено их петрографическое изучение. Аналитические исследования выполнены в ЦКП «ИГЕМ – Аналитика»: проведены определения концентраций петрогенных и микроэлементов рентгено-флуоресцентным методом (XRF); рудных, редких и редкоземельных элементов – методом спектроскопии с индукционно-связанной плазмой с масс-спектрометрическим окончанием (ICPMS) на масс-спектрометре X-SeriesII. Использовались методики и условия анализов принятые в ЦКП «ИГЕМ-Аналитика». Точность анализа контролировалась измерениями российских и международных стандартных образцов. Результаты этих исследований приведены в таблицах 1 и 2. На основе результатов аналитических исследований построены классификационные, петрогенетические диаграммы и графики, с помощью которых были расшифрованы условия образования пород дайкового пояса и выявлены их петрохимические и геохимические особенности (характеристики).

Краткая петрографическая характеристика пород дайкового пояса

Среди изученных пород среднеюрского *ДПБК* наиболее распространенными являются две близкие по составу разновидности – это диабазы и диабазовые порфириты.

Диабазы – массивные темно-серые породы со слабым зеленоватым оттенком. Микроструктура диабазовая, диабазо-офитовая (рис. 2). Структурный узор обусловлен наличием удлиненных лейст сдвойникованного плагиоклаза (основной андезин – лабрадор) размером до 0,5-0,1 мм и субизометричных кристаллов моноклинного пироксена (авгит), который совместно с рудными минералами (пирит, титаномагнетит) и хлоритом, расположен в промежутках между лейстами плагиоклаза. Иногда по периферии кристаллов авгита развивается актинолит. Хлорит концен-



Примечание. Поля составов: 1 – коматииты, 2 – коматиитовые базальты, 3-7 – вулканиты толеитовой серии: 3 – высокомагнезиальные и 4 – высокожелезистые базальты, 5 – андезиты, 6 – дациты, 7 – риолиты; 8-11 – вулканиты известково-щелочной серии: 8 – базальты, 9 – андезиты, 10 – дациты, 11 – риолиты.

На диаграмме Na₂O + K₂O - FeOt - MgO (B) - линия раздела между сериями по Т. Ирвайну и В. Барагару.

трируется в мезостазисе и образует гнездообразные скопления. Часто отмечаются карбонат, пренит, апатит.

Диабазовые порфириты – плотные, мелкозернистые, серые либо зеленоватосерые породы с варьирующим количеством вкрапленников плагиоклаза и пироксена. Микроструктура порфировая, гломеропорфировая и пойкилоофитовая, основная масса микродиабазовая, диабазо-офитовая и долеритовая. Плагиоклаз вкрапленников наблюдается в виде кристаллов, размером до 3,0×1,0 мм и их сростков (размером до 7,0×4,0 мм), практически полностью замещенных тонким агрегатом вторичных продуктов, состоящих из альбита, гидрослюды, глинистого минерала, карбоната. Плагиоклаз основной массы представлен лейстами обычно свежего, без вторичных изменений, реже заметно серицитизированного, сдвойникованного андезина-лабрадора. Ромбический пироксен отмечен в одном случае, в виде кристаллов размером 0,6×1,0 мм замещающихся хлоритом, тальком и карбонатом.



Рис. 4. Составы пород на вариационных диаграммах SiO₂ – петрогенные элементы.

Моноклинный пироксен – авгит присутствует в виде крупных субизометричных кристаллов размером до 2,5 мм, которые часто содержат пойкилитовые включения плагиоклаза и в основной массе в промежутках между лейстами плагиоклаза, в виде короткопризматических кристаллов размером до 0,1-0,4 мм совместно с рудным минералом и хлоритом. Часто по авгиту в периферийной зоне развивается актинолит. Иногда промежутки между лейстами плагиоклаза полностью выполнены серпентин – хлоритом. Рудный минерал замещается сфеном. В некоторых образцах развиты вторичные минералы, такие как карбонат, пренит, цоизит, эпидот, кварц.



ж. Диаграммы концентраций несовместимых элементов нормированные к примитивной мантии

Рис. 5. Составы пород на петрогенетических и спайдер диаграммах

Петрохимические и геохимические характеристики пород

На классификационных диаграммах (рис. 3) фигуративные точки составов исследованных образцов ДПБК сгруппированы: в поле базальтов и трахибазальтов $(Na_2O+K_2O) - SiO_2$; частично в поле высокомагнезиальных базальтов толеитовой серии и частично в поле базальтов известково-щелочной серии Al- (Fet+Ti) – Mg; вблизи поля высокомагнезиальных базальтов Zr – TiO₂ (60% анализов). На диаграмме $Na_2O+K_2O - FeOt - MgO$ точки составов сгруппированы (по критериям Т. Ирвайна и В. Барагара) выше границы раздела толеитовой и известково-щелочной серий. Здесь они расположены субпараллельно стороне треугольника FeOt – MgO в поле пород толеитовой серии, для которых характерен Феннеровский тип магматической дифференциации с последовательным увеличением железистости в конечных продуктах. На вариационных диаграммах SiO₂ – петрогенные элементы (рис. 4), точки составов образуют компактные группы (Fe₂O₃, CaO, MnO) либо более широкие ореолы, в которых просматриваются подгруппы, что особенно заметно по распределению таких оксидов как *TiO*₂ и *P*₂*O*₅. Сравнительный анализ составов пород показывает, что петрохимический состав даек удаленных друг от друга на многие десятки и сотни километров, может быть близким, а расположенных в нескольких десятках метров друг от друга может заметно отличаться. По содержаниям (в масс. %): *Al*₂O₃=13,74-19,32; среднее – 16,67, *Al*¹=0,68-1,25 – это умеренно и высоко глиноземистые породы; $TiO_2=1,06-2,57$; среднее – 1,64, выделяются низко- и высокотитанистые разновидности, однако содержание TiO₂ здесь выше, чем в субдукционных базальтах (≤ 1,00%); K₂O – это умеренно и высококалиевые – $K_2O=0,5-2,55$; среднее – 0,96, по MgO=4,14-8,47, среднее – 7,06), Mg#(0,42-0,65) – это умеренно и повышенно магнезиальные образования, сопоставимые с внутриплитными базальтами – Mg# (0,40-0,60); по величине Na_2O/K_2O отношения (1,5-7,0) тип щелочности пород калиево-натриевый (1-4) и натриевый (>4) (табл. 1). Известно, что по геохимическому составу (табл. 2) базальта, используя отношение Ti/V, можно диагностировать тектонические обстановки IAB (островные дуги), MORB, OIB (океанические острова), BABB (задуговые бассейны). В базальтах IAB Ti/V<20; в MORB и континентальных покровных базальтах Ti/ V=20-50, в базальтах OIB, в общем, >50. В породах ДПБК отношение Ti/V варьирует в пределах от 30 до 70. На диаграмме (V – Ti/1000) точки составов пород ДПБК расположены вблизи поля MORB и частично в поле OIB (рис. 5a), на тройной диаграмме $(Zr/4 - Nb \times 2 - Y)$ они попадают в поля N - MORB и E - MORB (рис. 56). На диаграмме (Th/Ta - La/Yb), где показаны деплетированный компонент (DEP), рециклированный компонент слеба (REC) и обогащенный компонент (EN), дающие вклад в образование базальтов (рис. 5в) [Туркина, 2014], точки составов ДПБК сгруппированы вблизи состава примитивной мантии с незначительным смещением к компонентам (EN) и (REC). На аналогичной диаграмме (Nb/Y - Zr/Y), учитывающей распределение только высокозарядных элементов (рис. 5г), точки составов сгруппированы вблизи примитивной мантии с незначительным смещением к (EN). Индикаторные отношения геохимически сходных элементов часто используют для расшифровки геологических процессов. Так, величина Ni/Co отношения в основных породах, находящаяся в интервале 2,5-5,0, является одним из критериев как для первично мантийного генезиса магм, так и для мантийных выплавок. В нашем случае оно варьирует от 1,2 до 5,2, среднее значение 2.9. На модели равно-

Ι.	
Таблица	

(RF) пород среднеюрского дайкового пояса	элементы в г/т)
ззультаты рентгено-флуоресцентного анализа ()	(оксиды в весовых %;

					<u> </u>	<u> </u>	<u> </u>	<u> </u>					<u> </u>	r						<u> </u>									<u> </u>	1		
205-2/13	46,49	1,13	17,03	9,04	0,131	8,47	9,71	2,63	0,52	0,10	0,05	4,55	99,85	162	157	39	121	56	71	<10	31	232	93	7	75	29	5,05	0,97	0,64	нон:		
205-1/13	47,67	1,12	17,03	8,63	0,128	8,44	9,53	2,31	0,55	0,12	0,03	4,25	99,81	334	157	33	171	59	72	<10	37	215	96	12	66	35	4,2	0,99	0,65	/88 – Ap		
K-48/90	44,87	2,07	16,06	13,05	0,191	5,96	9,04	4,07	0,18	0,34	0,09	3,88	99,80	145	217	45	60	102	66	<10	<10	431	91	~	113	36	22,6	0,84	0,47	0/15. K-51		
K-61/90	45,41	1,95	16,73	12,04	0,176	5,83	9,65	3,47	0,47	0,30	<0,02	3,74	99,77	132	229	39	57	95	90	<10	14	533	113	7	88	36	7,38	0,93	0,48	48/15.50		
K-187/90	50,94	1,25	16,34	11,02	0,162	4,14	8,44	2,92	2,55	0,33	<0,02	1,64	99,73	121	197	30	35	142	111	28	87	436	361	11	142	38	1,14	1,07	0,42	- Пейлон:		
206-2/13	46,84	1,36	16,38	9,70	0,193	7,46	10,71	2,61	1,00	0,14	0,05	3,35	99,79	246	206	37	74	53	102	18	99	254	91	7	91	29	2,61	0,95	0,60	5. 14/15 -		
206-1/13	45,19	2,57	15,57	13,13	0,195	5,81	8,66	3,19	1,77	0,43	0,03	3,27	99,82	55	179	37	53	45	66	<10	45	386	229	11	209	40	1,8	0,82	0,47	1/15.12/1		
206/13	45,59	2,55	16,10	12,38	0,191	5,70	7,72	3,29	2,09	0,41	0,03	3,70	99,75	53	199	31	52	47	104	<10	71	501	332	10	211	42	1,57	0,89	0,47	10/15.1		
K-51/88	47,82	1,27	17,57	8,89	0,163	7,25	11,10	2,08	1,32	0,15	<0,02	2,20	99,81	306	213	35	110	71	96	20	<i>L</i> 6	209	94	10	86	25	1,57	1,08	0,61	sv: 8/15.		
50/15	48,01	1,37	16,13	10,21	0,170	8,08	10,88	2,12	1,38	0,13	0,10	1,21	99,79	332	200	44	113	127	91	16	69	188	84	9	84	29	1,53	0,8	0,61	Allbin-d		
48/15	47,11	2,27	13,74	13,25	0,216	6,88	11,74	3,13	0,61	0,25	<0,02	0,61	99,81	216	287	32	61	41	106	<10	20	219	102	6	149	45	5,13	0,68	0,50	-2/13 -	i	
14/15	47,95	1,25	18,75	8,85	0,151	7,08	11,95	2,35	0,35	0,16	<0,02	0,95	99,79	301	182	35	118	49	73	<10	16	278	85	8	85	24	6,71	1,17	0,61	13. 206		3bIMTa.
12/15	47,03	1,06	19,52	7,93	0,146	7,66	12,31	1,91	0,42	0,14	<0,02	1,68	99,81	382	176	32	162	56	75	<10	24	231	99	8	70	24	4,54	1,25	0,65	. 206-1/		M - 06
11/15	49,00	2,32	15,56	10,30	0,159	6,57	10,37	3,28	0,61	0,70	0,17	0,66	99,70	179	239	34	106	130	108	38	23	849	108	17	159	30	5,37	0,92	0,55	: 206/13		90. K-48
10/15	48,09	2,48	14,40	10,61	0,179	7,98	9,88	2,90	1,23	0,59	0,14	1,26	99,74	247	249	37	147	57	92	<10	47	547	154	15	152	32	2,35	0,77	0,59	8 Heren		, K-61/9
8/15	46,22	1,08	19,32	8,23	0,163	7,74	11,35	1,95	1,14	0,13	<0,02	2,45	99,77	365	171	30	154	60	69	15	61	245	186	8	70	23	1,71	1,2	0,65	: K-44/8		-187/90
K-44/88	46,92	1,20	16,71	8,60	0,135	7,58	8,89	2,54	0,62	0,13	0,05	6,41	99,79	302	172	36	131	59	76	<10	40	291	163	7	110	38	4,09	1,03	0,63	16 – A3av) È	Eakcan: K
3/16	48,98	1,30	17, 19	8,88	0,14	6, 19	10,91	3,24	0,59	0,15	0,08	2,18	99,83	128	188	29	65	69	74	<10	30	279	102	~	104	30	5,49	1, 14	0,57	ание: 3/]	070	-2/13 -
№ oбp.	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	Ou M	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	S	иии	Сумма	Cr	Α	Co	Ni	Cu	Zn	Pb	Rb	Sr	Ba	Nb	Zr	Y	Na_2O/K_2O	Al^{l}	$Mg^{\#}$	Примеч		205-1/13. 205

<i>2</i> :	
Таблица	

24

Результаты ICP-MS анализа пород среднеюрского дайкового пояса (элементы в г /т)

	205-2/13	22	0,34	26	6215	175	143	985	42	103	22	71	15	28	237	21	62	1,3	0,25	0,25	0,17	6,5	77	3,4	10	1,6
	205-1/13	40	0,75	30	7665	187	347	1171	48	174	45	80	19	41	264	27	92	2,2	<110	0,36	0,28	6,8	112	6,8	18	2,8
Ň	206-2/13	20	0,72	31	7559	215	217	1422	40	63	9,1	95	16	68	253	21	67	3,7	0,18	0,41	0,22	1,2	80	5,1	14	2,1
	206-1/13	16	1,8	23	14053	240	40	1403	38	42	12	98	25	45	391	31	143	13	0,46	0,54	0,27	0,31	237	16	39	5,2
	206/13	17	1,8	24	14289	245	41	1461	38	42	19	103	28	74	507	32	183	13	1,4	0,53	0,39	1,4	356	16	38	5,2
	к-51/88	15	0,61	28	6852	195	280	1214	34	90	48	75	17	101	182	22	22	4,5	O∏>	0,063	0,21	1,2	88	5,3	14	2,0
	50/15	11	0,54	34	7498	229	291	1281	44	66	100	101	16	71	187	22	24	2,7	0,39	0,26	$0,\!20$	1,3	89	4,3	12	2,0
тера проб	48/15	2,8	0,83	37	11181	290	188	1435	35	48	0∐>	100	17	15	211	34	18	6,8	0,12	1,7	0,42	0,40	89	9,9	26	3,8
Hon	14/15	5,3	0,63	25	6920	186	272	1127	35	98	14	76	15	12	283	18	22	4,9	0,51	0,13	0,093	0,51	62	5,8	15	2,2
	12/15	7,9	0,34	24	5940	175	309	1111	35	134	23	69	14	21	231	17	12	4,2	0,062	0,042	0,052	0,68	51	5,0	13	1,9
	11/15	3,3	1,8	19	12865	232	150	1186	32	93	111	102	21	19	880	24	22	20	1,0	0,24	0,46	1,2	120	30	79	11
	10/15	6,1	1,5	24	13847	252	224	1382	35	130	28	219	21	46	563	23	46	19	0,070	0,21	0,26	1,5	141	27	72	10,0
	8/15	16	0,40	24	5773	172	309	1178	35	132	36	63	18	61	252	17	12	3,8	0,24	0,056	0,19	2,7	163	4,6	12	1,8
	к-44/88	19	0,57	22	6389	159	259	932	38	113	48	68	17	36	253	23	90	2,7	<110	0,20	0,16	12	134	5,9	15	2,3
	3/16	5,5	0,81	28	6972	191	125	993	32	54	42	99	16	28	284	21	56	5,0	0,39	0,29	0,29	0,51	65	8,3	21	3,0
	JICMEHTEI	Li	Be	Sc	Τi	Δ	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Ag	Cd	Cs	Ba	La	Ce	Pr

продолжение
\sim
Ταблица

	205-2/13	9,0	3,1	1,2	3,7	0,62	4,2	0,94	2,6	0,39	2,3	0,34	2,0	0,05	0,04	3,7	0[]>	0,49	0,16	43,39
	205-1/13	14	4,4	1,5	4,8	0,84	5,4	1,2	3,3	0,48	2,9	0,43	3,0	0,16	0,35	5,2	<110	1,4	0,29	66,85
	206-2/13	10	3,3	1,3	4,0	0,68	4,4	0,90	2,5	0,33	2,2	0,30	1,8	0,21	0,22	14	0II>	0,32	0,31	51,11
	206-1/13	23	6,2	2,0	6,3	1,1	6,7	1,4	3,7	0,52	3,1	0,46	3,7	0,92	0,06	4,8	<110	1,2	0,42	114,68
	206/13	22	6,1	2,0	6,4	1,1	6,5	1,4	3,8	0,53	3,3	0,47	4,2	0,93	10</td <td>3,3</td> <td><!--10</td--><td>1,3</td><td>0,48</td><td>112,8</td></td>	3,3	10</td <td>1,3</td> <td>0,48</td> <td>112,8</td>	1,3	0,48	112,8
	к-51/88	9,7	3,3	1,1	3,3	0,63	4,1	0,87	2,5	0,34	2,1	0,32	0,9	0,23	<110	18	0,59	0,29	0,11	49,56
	50/15	9,9	3,4	1,3	4,0	0,71	4,6	0,99	2,8	0,40	2,5	0,34	1,2	0,14	1,4 16 0,74		0,30	0,74	49,24	
лера проб	48/15	18	5,6	1,8	6,2	1,1	6,9	1,50	4,2	0,59	3,5	0,49	1,1	0,43	10</td <td>8,1</td> <td>0,066</td> <td colspan="2">0,70</td> <td>89,58</td>	8,1	0,066	0,70		89,58
Hon	14/15	10	3,2	1,1	3,6	0,60	3,9	0,80	2,2	0,32	1,9	0,26	0,84	0,30	0,52	8,7	0,047	0,41	0,28	50,88
	12/15	8,7	2,7	0,99	3,2	0,54	3,5	0,74	2,1	0,29	1,8	0,26	0,52	0,24	0∐>	6,6	0,076	0,33	0,28	44,72
	11/15	44	9,3	2,5	7,6	1,1	5,4	1,0	2,6	0,34	1,9	0,27	1,3	1,2	1,74	29	2,26	3,8	1,1	196,01
	10/15	41	8,8	2,6	7,6	1,0	5,4	1,0	2,4	0,32	1,8	0,24	1,8	1,1	2,67	9,9	0,19	3,0	0,91	181,16
	8/15	8,5	2,6	0,98	3,0	0,53	3,6	0,74	2,0	0,29	1,7	0,25	0,52	0,23	0,80	17	0,077	0,27	0,092	42,59
	к-44/88	11	3,5	1,1	3,7	0,66	4,3	0,93	2,6	0,38	2,3	0,35	2,6	0,11		5,6	0II>	1,2	0,23	54,02
	3/16	13	3,7	1,2	4,2	0,74	4,5	0,94	2,5	0,35	2,1	0,30	1,9	0,35	0,22	4,8	0,21	1,8	0,56	65,83
		Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Но	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	М	Pb	Bi	Th	U	$\sum REE$

весного плавления гранатового и шпинелевого перидотита (Sm/Yb – La/Sm) точки составов ДПБК сгруппированы вдоль тренда плавления шпинелевого перидотита в диапазоне значений частичных выплавок от 3 до 15% (рис. 5д). На диаграмме концентраций редкоземельных элементов (рис. 5е), нормированных по хондриту [Sun, McDonough, 1989], у большинства образцов спектр REE имеет вид полого наклоненной линии, без европиевой аномалии и со слабым обогащением в области *LREE* и *MREE*. La^{μ}/Sm^{μ} отношение варьирует в пределах от 0,8 до 1,2; Gd^{μ}/Yb^{μ} – от 1,3 до 1,5. La^H/Yb^H отношение, как показатель степени фракционирования REE, в изученных образцах изменяется от 1,2 до 2,0, т. е. они характеризуются низкой степенью фракционирования. Следует отметить, что здесь встречаются единичные образцы с иным спектром распределения *REE* – они более обогащенные *LREE* и *MREE*. Для них La^{H}/Sm^{H} отношение находится в пределах от 1,44 до 2,0; Gd^{H}/Yb^{H} – от 1,6 до 3,5; La^H/Yb^H – от 2,8 до 11,3. Следует отметить, что все спектры занимают промежуточное положение между спектрами эталонов *E-MORB* и *OIB*. Сравнение с другими известными эталонами показало, что спектры *REE ДПБК* близки к спектрам базальтов островных дуг или субдукционных базальтов и базальтов континентальных рифтов [Туркина, 2014]. Сумма REE варьирует от 42 до 196, среднее значение *S REE*=80,8. Концентрации несовместимых элементов, нормированные по примитивной мантии [Sun, McDonough, 1989] в большинстве исследованных образцов ДПБК имеют близкий профиль. В правой части спектра концентрации HFSE и HREE совпадают с N-MORB, E-MORB (puc. 5ж), в левой части отмечается обогащение пород LILe и LREE. Ясно выражены положительные аномалии для K, Rb, U, и негативные аномалии для Zr; Hf, Nb, Ta – элементов не мобильных в процессе низкотемпературных изменений. Отметим также, что в единичных пробах аномалии по Zr; Hf отсутствуют.

Обсуждение результатов

Изученные породы ДПБК представлены авгит содержащими диабазовыми порфиритами и диабазами. Для них характерны: умеренно и высокоглиноземистые, низко и высокотитанистые, умеренно и высококалиевые, умеренно и повышенно магнезиальные разновидности пород с калиево-натриевым и натриевым типом щелочности (Na₂O/ K₂O=1,14-7,38). Если исходить из усредненных показателей, то исходными для наших пород были высокоглиноземистые Al₂O₃=16,67 мас. %), умеренно титанистые ($TiO_2=1,64\%$), умеренно калиевые ($K_2O=0,96$ мас. %), повышенно магнезиальные (MgO=7,06 мас. %) расплавы, которые на диаграммах тяготеют к полям базальтов с характеристиками *N*-*MORB*, *E*-*MORB*, *OIB*. Эти расплавы формировались при 3-15% плавлении шпинелевого перидотита, близкого по составу к субстрату примитивной мантии. Концентрации REE (рис. 5е), нормированые по хондриту, показали, что у большинства образцов их спектр имеет вид полого наклоненной линии без европиевой аномалии, со слабым обогащением в области LREE и *MREE*. La^{*H*}/Sm^{*H*} отношение варьирует в пределах от 0,8 до 1,2; Gd^{H}/Yb^{H} – от 1,3 до 1,5; La[#]/Yb[#] – от 1,2 до 2,0, что свидетельствует о низкой степени фракционирования редких земель в расплаве. Все спектры занимают промежуточное положение между спектрами эталонов *E-MORB* и *OIB*. На спектрах несовместимых элементов, нормированных по примитивной мантии, видно, что концентрации HFSE и HREE аналогичны эталонам N-MORB, E-MORB (рис. 5ж), концентрации LILe, LREE повышены и варьируют от величин характерных для *E-MORB* и до величин характерных для *OIB*. Наблюдаются положительные аномалии в содержаниях *K*, *Rb*, *U* и негативные – для *Zr*, *Hf*, *Nb*, *Ta*.

К субдукционным базальтам обычно относят: толеитовые (*IAB*), известковощелочные базальты островных дуг (*CABI*) и активных континентальных окраин (*CABM*), которые характеризуются широким диапазоном вариаций по кремнекислотности (SiO_2 =45-53 мас%), повышенным содержание Al_2O_3 =16-20 мас. %) и низкими концентрациями TiO_2 (≤ 1 мас. %). Повышенное содержание TiO_2 (до 2-2,5%) характерно для базальтов, образующихся в условиях задугового растяжения [Туркина, 2014]. Напомним, что базальтовые магмы высокоглиноземистого типа (выделены Х. Куно) проявляются в тесном сочетании с андезитовыми, дацитовыми и риолитовыми расплавами и очень редко встречаются изолировано, как в нашем случае. Они необычны по составу и отличаются повышенной щелочностью за счет натрия. По своей щелочности и насыщенности кремнеземом высокоглиноземистые базальты занимают промежуточное положение между толеитовыми и оливиновыми базальтами. Считается, что формирование первичных высокоглиноземистых базальтовых магм может происходить за счет вещества мантии в интервале глубин 60-120 км [Ломизе, 1983].

Наблюдаемые в породах ДПБК на спектрах несовместимых элементов аномалии могут быть объяснены разными процессами. Известно, что в закрытом источнике Ta, Nb переходят в расплав при одинаковой температуре. В открытой плавящейся системе при наличии флюидов температура фракционирования Та в расплав в два раза ниже чем у Nb, что обуславливает значительные вариации отношения *Nb/Ta* в породах сформировавшихся в геодинамических обстановках *AMCB* и *IAB*. В нашем случае этот интервал находится в пределах 14-20 и редко выходит за эти пределы, что указывает на возможность слабого метасоматоза надсубдукционного клина флюидами, обогащенными LiLe, LREE и обедненными Ta, Nb, Zr, Hf [Туркина, 2014]. Аномалии в содержаниях К, Rb, U могут быть связаны с процессом контаминации расплавов коровым материалом. Эксперименты проводившиеся в статическом и динамическом режимах при температуре 1200-1400°C, выявили интенсивную растворимость в толеит-базальтовом расплаве гранитного вещества: полную для калиевого полевого шпата и олигоклаза и частичную (3,3×10⁻⁶ г/см²) для *β*-кварца. Процесс взаимодействия сводится, по существу, к диффузии в жидком состоянии отдельных элементов, как в кислой, так и в основной части системы, в первую очередь щелочей. Селективная контаминация поднимающегося вверх базальтового расплава особенно отчетливо заметна по содержанию в нем K_2O . Предположительно ассимиляция происходит на значительных глубинах, в нижней части коры, где расплав находится в перегретом состоянии под давлением 5-9 кбар, и содержит большое количество флюидной фазы и является весьма реакционно способным [Watson, 1979; Богатиков, Цветков, 1988].

В связи с тем, что по содержанию Mg# диабазы ДПБК сопоставимы с внутриплитными базальтами, к которым относят: базальты океанических островов OIB; океанических плато OPB; континентальных рифтов CRB и платобазальты CPB, отметим следующее: 1) В изученных образцах величина La^{μ}/Lu^{μ} отношения = 1,4-12,0 ниже значений характерных для пород континентальных рифтов (10–100); 2) Негативные аномалии высокозарядных элементов также указывают на существенные различия наших пород и базальтов континентальных рифтов, которые обычно обогащены *Ti*, *P*, *Hf*, *Ta*, *Nb* [Короновский, Демина, 2011]; 3) С другой стороны, ряд признаков говорит о близости петрохимического состава пород ДПБК с синемюрнижнеплинсбахскими диабазами базит-гипербазитового фиагдонского комплекса, которые формировались в бассейне типа *BABB* в надсубдукционных условиях [Газеев и др, 2014]. Однако нормированные концентрации *REE* и несовместимых элементов у них существенно различаются.

Заключение

Авгит содержащие диабазы, распространенные в зоне Главного хребта Большого Кавказа, образовались из высокоглиноземистых, повышенно магнезиальных, умеренно калиевых расплавов, сформированных при плавлении шпинелевого перидотита. Породы обладают характеристиками субдукционных базальтов – они заметно обогащены Al_2O_3 , и в меньшей степени *LILe, LREE, MREE.* Характерные негативные аномалии *Zr, Hf, Nb, Ta* позволяют уверенно отличить их от континентальных рифтогенных базальтов. С другой стороны, повышенные, по сравнению с эталонами субдукционных базальтов, содержания *TiO*₂ характеризуют их как породы, возникшие в условиях задугового растяжения [Туркина, 2014], что соответствует их известной [Ломизе, Суханов 2006] геодинамической позиции.

Работа подготовлена при поддержке гостемы НИР № 0196-2015-0001 и темы **НИОКТР: АААА-А17-117060910044-5** в КНИО ВНЦ РАН и гостемы 67-1 (ФГБУН ИГЕМ РАН).

Литература

1. Абрамович И.И., Залепугин В.Н., Аплонов С.В. и др. Основы геодинамического анализа при геологическом картировании // С. Пб.: ВСЕГЕИ, 1997. – 498 с.

2. Богатиков О.А., Цветков А.А. Магматическая эволюция островных дуг // М.: Наука, 1988. – 241 с.

3. Газеев В.М., Гурбанов А.Г., Гольцман Ю.В. и др. Фиагдонский эффузивно-силловый комплекс (Республика Северная Осетия-Алания, Россия): геохимия, геодинамическая обстановка формирования, проблемы рудоносности // Вестник Владикавказского научного центра РАН. – 2014. – Том 14. № 2. – С. 21-34.

4. Короновский Н.В., Демина Л.И. Магматизм как индикатор геодинамических обстановок // М.: Изд. КДУ, 2011. – 209 с.

5. Ломизе М.Г., Суханов М.К. Дайковый пояс Большого Кавказа: среднеюрская задуговая структура // Бюл. Моск. о-ва испытателей природы. Отд. Геол. – 2006. – Т. 81. Вып. 6. – С. 9-15.

6. Ломизе М.Г. Тектонические обстановки геосинклинального вулканизма // М.: Недра, 1983. – 186 с.

7. Туркина О.М. Лекции по геохимии магматического и метаморфического процессов // Новосибирск: РИЦ НГУ, 2014. – 118 с.

8. Sun S. S., McDonough W. F. Chemical and isotopic systematic of oceanic basalts // Geol. Spec. Publ. – 1989. – № 42. – Pp. 313-345.

9. Watson E.B. Basalt contamination by continental crust: some experiment and models // Contrib. to Miner. and Petrol. – 1982. – Vol. 80. № 1. – Pp. 73-87.

DOI: 10.23671/VNC.2018.2.13925

THE BASIC ROCKS OF MIDDLE-JURASSIC BACK-ARC DIKE BELT OF BIG CAUCASUS: GEOCHEMISTRY, THE QUESTIONS OF PETROGENETIC AND GEODYNAMICS TYPIFICATION

© 2018 V.M. Gazeev^{1, 2}, Sc. Candidate (Geol.-Min.), A.G. Gurbanov^{1, 2}, Sc. Candidate (Geol.-Min.), I.A. Kondrashov¹

¹Institute of geology of ore deposits, petrography, mineralogy and geochemistry RAS, Russia, 119017, Moscow, Staromonetny Lane, 35;

²Vladikavkaz Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Russia, 362027, RNO-Alania, Vladikavkaz, Markusa Str., 22, e-mail: ag. gurbanov@iyandex. ru

To the north from the Main thrust of Big Caucasus the post-folding (post-aalean) dikes of basic in composition are distributed. Petrographic and geochemic investigation of these rocks have been done. The results of its analysis by *RFA* and *ICP MS* methods are given in this paper. It is shown, that initial melts are generated on melting of 3-15% of spinel peridotite. High concentration AI_2O_3 , a pronounced enrich by *LILe*, *LREE*, *MREE* and a negative anomalies of *Ta*, *Nb*, *Zr*, *Hf* are allowed to think of their as a subduction formation. Righ, in comparison with a standards of subductional basalts, content of TiO_2 are characterized of this basic in composition rocks, as a generated in condition of back-arc tension, that correspond to their assumed geodynamic position.

Keywords: Big Caucasus, dike belt, subductional basalts, petrography, geochemistry, geodynamic reconstruction, back-arc structure of tension.

References

1. Abramovich I. I., Zalepugin V. N., Aplonov S. V. i dr. Osnovy geodinamicheskogo analiza pri geologicheskom kartirovanii // S. Pb.: VSEGEI, 1997. – 498 s.

2. Bogatikov O.A., Cvetkov A.A. Magmaticheskaja jevoljucija ostrovnyh dug // M.: Nauka, 1988. – 241 s.

3. Gazeev V.M., Gurbanov A.G., Gol'cman Ju. V. i dr. Fiagdonskij jeffuzivno-sillovyj kompleks (Respublika Severnaja Osetija-Alanija, Rossija): geohimija, geodinamicheskaja obstanovka formirovanija, problemy rudonosnosti // Vestnik Vladikavkazskogo nauchnogo centra RAN. – 2014. – Tom 14. № 2. – S. 21-34.

4. Koronovskij N. V., Demina L. I. Magmatizm kak indikator geodinamicheskih obstanovok // M.: Izd. KDU, 2011. – 209 s.

5. Lomize M.G., Suhanov M.K. Dajkovyj pojas Bol'shogo Kavkaza: srednejurskaja zadugovaja struktura // Bjul. Mosk. o-va ispytatelej prirody. Otd. Geol. – 2006. – T. 81. Vyp. 6. – S. 9-15.

6. Lomize M.G. Tektonicheskie obstanovki geosinklinal'nogo vulkanizma // M.: Nedra, 1983. – 186 s.

7. Turkina O.M. Lekcii po geohimii magmaticheskogo i metamorficheskogo processov // Novosibirsk: RIC NGU, 2014. – 118 s.

8. Sun S. S., McDonough W. F. Chemical and isotopic systematic of oceanic basalts // Geol. Spec. Publ. – 1989. – № 42. – Pp. 313-345.

9. Watson E. B. Basalt contamination by continental crust: some experiment and models // Contrib. to Miner. and Petrol. – 1982. – Vol. 80. № 1. – Pp. 73-87.