———— ГЕОЛОГИЯ ——

УДК 550.4 (571.63)

# СЕЛЕКТИВНАЯ КОНТАМИНАЦИЯ БАЗАЛЬТОВЫХ МАГМ И ГЕНЕЗИС БУХИТОВ (НА ПРИМЕРЕ ШУФАНСКОГО ПЛАТО, ПРИМОРЬЕ) С. О. Максимов<sup>1,\*</sup>, член-корреспондент РАН В. Г. Сахно<sup>1</sup>, Н. А. Екимова<sup>1</sup>, В. М. Чубаров<sup>2</sup>

#### Поступило 27.12.2018 г.

Обсуждаются вопросы масштабной контаминации базальтов Шуфанского вулканического плато (Приморье) селективными выплавками из ксенолитов. Селективно экстрагированные из ксенолитов кремнещелочные жидкости лишь ограниченно смешиваются с базальтовым расплавом и образуют полосы гранофира, придающие лавам такситовую текстуру. Охарактеризованы уникальные составы бухитов химически модифицированных при диффузионном взаимодействии с базальтовой магмой и селективнорасплавленных пелитовых ксенолитов. Их минеральные ассоциации представлены высокожелезитым кордиеритом (секанинаитом), ультражелезистым герцинитом, (Al, Zr) Fe-армолколитом, Zr-ильменитом, муллитом, силлиманитом, высоколантановым монацитом, бариево-фосфатной алюмосиликатной фазой. Особенности химического и минерального состава бухитов отражают накопление в реститовом веществе ксенолитов рефракторных элементов: Al, Fe, Ti, Zr, Ni, Cr с созданием ультраглинозёмистой, ультражелезистой, изначально несмесимой металло-силикатной композиции. Низкие свинцовые изотопные отношения в Шуфанских базальтах свидетельствуют о селективной контаминации веществом древнего кратонного основания. Наблюдается последовательный рост этих значений для базальтов, контаминированных верхнекоровым веществом, что отражает и изотопный состав бухитов.

*Ключевые слова*: Шуфанское базальтовое плато, контаминация, бухиты, Zr-армолколиты, предрасплавные "суспензии".

DOI: https://doi.org/10.31857/S0869-56524895490-496

Контаминация базальтовых магм веществом сиалической континентальной коры имеет важные геохимические следствия, искажающие интерпретацию их мантийных источников, возрастные данные и механизмы дифференциации.

В настоящем сообщении рассматриваются процессы селективной контаминации базальтов Шуфанского плато (Южное Приморье) выплавками из ксенолитов и охарактеризован уникальный состав бухитов — химически модифицированных и селективно расплавленных пелитовых ксенолитов. Шуфанское базальтовое плато расположено на юге Приморья, и около трети его площади продолжается на территорию Китая. Мощность сохранившейся части базальтовой постройки достигает 350 м, а её формирование произошло в интервале 13–10,5 млн лет назад [2]. В последовательности эволюции вулканизма прослеживается смена начальных излияний

1 Дальневосточный геологический институт

ортопироксеновых базальтов на оливин-клинопироксеновые и затем на низкокалиевые, оливиновые толеиты (0,27-0,4 мас.% К2О) с ростом магнезиальности выплавок (табл. 1). На завершающей стадии образовались многочисленные эруптивные центры и экструзии щелочных базальтов с лерцолитовыми и глиммеритовыми включениями, выходы которых группируются в протяжённую полосу северо-восточного "тан-лунского" направления [2]. Отличительной особенностью проявления вулканизма этой базальтовой постройки явилось излияние огромных объёмов базальтоидов, высококонтаминированных коровым алюмосиликатным веществом и фактически отвечающих андезит-трахиандезитовым составам (55-59 мас.% SiO<sub>2</sub>, 5-7 мас.% Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O) (табл. 1). Их лавовые покровы мощностью до 60 м и экструзивные массивы сохранились на нескольких разобщённых участках в верхней части плато, но как локальные останцы распространены на площади всего базальтового ареала, что подчёркивает масштабность процесса. Эти контаминированные разности резко отличаются по внешнему облику от типичных базальтов и представлены желтовато-серыми плотными непузыристыми лавами со струйчатотакситовой текстурой, формируемой прослойками

Дальневосточного отделения Российской Академии наук, Владивосток

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Институт вулканологии и сейсмологии

Дальневосточного отделения Российской Академии наук,

Петропавловск-Камчатский

<sup>\*</sup>E-mail: hangar7@mail.ru

иници и представленовых состави сазанието научитекого лавового покрова и сухитовых вклютении									
Состав	M-5001	M-5188	M-5381	M5451	M-5336	M-5332	M-5497	M-5889	M-5871
Состав	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SiO <sub>2</sub>	52,49	51,74	52,65	58,39	57,36	38,88	39,00	38,58	40,41
TiO <sub>2</sub>	2,42	1,52	1,26	1,34	1,24	3,89	2,96	3,78	3,84
$Al_2O_3$	15,95	15,57	16,52	15,39	16,26	31,52	34,35	33,42	34,07
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,65	1,18	3,90	2,83	2,52	5,82	10,50	12,46	4,62
FeO	3,82	9,79	6,66	5,59	5,89	15,75	10,72	8,75	13,45
MnO	0,07	0,11	0,12	0,10	0,10	0,17	0,16	0,16	0,18
MgO	2,77	6,75	6,46	3,25	3,31	0,43	0,11	0,18	0,25
CaO	7,60	7,93	7,90	5,52	5,89	0,47	0,74	0,08	0,55
Na <sub>2</sub> O	2,93	2,98	2,92	3,99	3,95	0,17	0,55	0,06	0,44
K <sub>2</sub> O	2,70	1,24	0,28	1,99	1,85	0,42	0,24	0,16	0,16
$P_2O_5$	0,65	0,31	0,25	0,34	0,34	0,50	0,40	0,36	0,66
$H_2O^-$	0,77	0,0	0,23	0,32	0,42	0,30	0,17	0,51	0,20
П.п.п.	2,86	0,65	0,98	0,72	0,73	1,60	_	0,20	0,81
Сумма	99,68	99,77	99,60	99,77	99,86	99,92	99,90	99,67	99,64
Ni	86,3	210	185	79	84	237	381	224	309
Co	30	46,20	43	27	28	60	90	44,31	190
Cr	48,5	224,4	207	115	130	339	205	260	1373
V	134,5	176,4	153	119	108	н/а	219,4	331	402
Rb	51	9,76	3	59	73	29	7,37	5,15	3
Sr	892	513,7	565	339	362	36	85,2	99,24	206
Ba	362	201,1	111	406	450	473	1301	837,1	1360
Y	17	14,14	9	19	20	18	3,83	23,6	21,24
Zr	277	84,07	49	167	217	185	267	340	357
Nb	18,5	6,73	4,8	25	33,5	38	24	22,16	25,09
Та	1,13	0,47	0,4	2,0	2,43	2,0	1,71	1,29	1,25
Hf	6,61	2.21	2,3	3,46	4,98	5,0	6,51	9,29	7,23
La	29,63	7,61	5	20,2	27	19	12,1	398,5	375
Ce	66	17,59	11	38,7	56	60	45,37	127,4	64,2
Pr	8,71	2,75	1,8	4,57	2,8	4,0	2,28	51,37	47,70
Nd	42,19	14,92	9,7	21,5	23,5	18	7,80	156	136
Sm	8,83	4,18	2,8	5,35	5,3	4,0	1,74	24,94	20,98
Eu	2,77	1,59	1,19	1,65	0,75	1,0	0,61	6,86	5,95
Gd	7,64	4,52	1,9	3,50	4,86	3,6	1,44	17,94	13,33
Tb	0,93	0,62	0,43	0,84	0,32	0,6	0,24	2,19	1,69
Dy	4,89	3,60	1,55	3,02	3,88	3,2	1,27	10,59	8,34
Но	0,81	0,65	0,26	0,49	0,71	0,7	0,18	1,45	1,25
Er	1,92	1,64	0,90	1,83	1,93	1,7	0,52	3,76	2,89
Tm	0,23	0,22	0,15	0,31	0,26	0,2	0,07	0,50	0,44
Yb	1,40	1,34	0,58	1,15	1,72	1,3	0,63	3,02	2,42
Lu	0,18	0,19	0,14	0,27	0,23	0,16	0,08	0,42	0,35
Pb	5,29	2,21	2,62	4,40	5,84	1,8	11,52	11,45	6,21
Th	2,95	0,72	0,68	6,98	6,32	7,04	2,49	4,44	2,65
U	0,65	0,13	0,18	1,46	1,24	2,2	0,74	1,22	0,91
Pb <sup>206</sup> /Pb <sup>204</sup>	17,471±2	$17,506\pm3$	17,745±5	17,857±2	17,987±3	18,550±39	_	_	_
Pb <sup>207</sup> /Pb <sup>204</sup>	15,461±2	15,526±3	15,422±3	15,433±2	15,517±4	15,603±43	_	_	_
Pb <sup>208</sup> /Pb <sup>204</sup>	37,361±5	37,526±5	37,426±1	37,426±5	37,995±5	38,522±52	_	_	_

Таблица 1. Представительные составы базальтов Шуфанского лавового покрова и бухитовых включений

Примечание. Петрогенные оксиды определены классическим химическим методом (ан. 1–7) (аналитик Л.И. Алексеева) и методом РФА (ан. 8–9); микроэлементы — методом ICP-MS на спектрометре Agilent 7700 в ДВГИ ДВО РАН (Владивосток) и Институте геохимии СО РАН (Иркутск). Изотопные определения свинца выполнены на масс-спектрометре Finnigan MAT 262 в Институте геохимии СО РАН (Иркутск) по стандартной методике (аналитик Г.П. Сандимирова). Здесь и далее в таблицах: пробел — не анализировалось; прочерк — ниже предела определений. 1 — ортопироксеновый базальт (основание покрова); 2, 3 — оливиновые базальты (средняя и верхняя части покрова); 4, 5 — ортопироксеновые контаминированные базальты (андезит-трахиандезиты) (верхняя часть покрова); 6–9 — бухиты.

несмесимого кремне-калиевого гранофира и неравновесной минеральной ассоциацией вкрапленников. включающей преобладающий ортопироксен (f=17-56), субкальциевый авгит (f = 25 - 42), резко зональные плагиоклазы, ильмениты, а также реликты магнезиального оливина и ситовидного плагиоклаза. Характерным минеральным признаком контаминации служит обогащение базальтов ксеногенным кварцем. Его интенсивно корродированные зёрна окружены мощными реакционными коронками, состоящими из сноповидного агрегата субкальциевого авгита (f = 25), андезин-олигоклаза, санидина, пластинок биотита (f = 35), амфибола (f = 42) и высококалиевого риолитового стекла. Равномерное распределение ксеногенных зёрен кварца и ситовидного плагиоклаза по всему объёму лавовой массы свидетельствует о необычном механизме гомогенизации огромных масс ассимилированного кислого корового вещества. Главные геохимические признаки этих контаминированных разностей — обогащение SiO<sub>2</sub>, K, Rb, LREE, Pb и на порядок Th и U (табл. 1). Повышенная кремнекислотность лав и дегазационные явления в верхней части приповерхностной камеры, где скапливались эти облегчённые расплавы, определили их большую вязкость и меньшую газонасыщенность относительно основных объёмов магмы. Тепловой баланс, требуемый для столь масштабной и продвинутой ассимиляции, учитывая субафировый характер лав, мог создаваться малоглубинной камерой конвектирующих магм с высоким значением S/V [10]. Экстрагированные из селективно расплавленных коровых ксенолитов кремне-щелочные выплавки лишь ограниченно смешиваются с базальтовым расплавом, образуя согласные с течением лав тонкие линзовидные обособления калиевого гранофира, придающие им такситовую текстуру. В отличие от толеитовых магм щелочные базальты не обнаруживают следов заметной геохимической и минералогической модификации, прежде всего роста кремнекислотности главного признака контаминации, несмотря на заражённость ксеногенным коровым веществом. Последнее представляет типовую особенность щелочных расплавов [11] и может объясняться различиями в динамике (меньшей степенью турбулентности) подъёма магм из-за насыщенности их глубинными включениями и мегакристами, а также большей структурной несовместимостью щёлочнобазитовых магм и алюмосиликатного корового вещества [1]. В базальтах наблюдается буферирование избыточного ксеногенного твердофазового алюмосиликатного вещества кварца реакционными минеральными коронками. Для их полной ассимиляции необходимо разрушить уже образовавшиеся силикатные группировки и сформировать более полимеризованные структуры. Этим, вероятно, определяется ограниченная смесимость подобных контрастных силикатных систем.

### ГЕНЕЗИС БУХИТОВ

Базальты Шуфанского плато обогащены разнообразными по составу коровыми ксенолитами при преобладании монокварцевых реститовых разностей. Массовое концентрирование в них кремнезёма происходит за счёт как собственного кварца, так и инконгруэнтного растворения силикатного вещества ксенолитов с концентрированием остаточного SiO<sub>2</sub>. Важное петрологическое значение имеют ультражелезистые, ультраглинозёмистые бухиты — химически модифицированные и селективно расплавленные ксенолиты пелитового состава. Их находки приурочены к ареалам контаминированных базальтов (трахиандезитов) (рис. 1), но сами бухиты включены в подстилающие лавы оливиновых толеитов, что отражает комплементарность процесса: экстрагирование избирательной катионной и кремне-щелочной компонент в базальтовый расплав и накопление в рефракторном остатке: Al, Ti, Fe. Бухиты представляют химически модифицированное и селективно расплавленное вещество ксенолитов, характеризуются стекловатым обликом и согласной с течением лав ориентировкой, но резкими границами, подчёркивающими ограниченную смесимость с базальтовым расплавом. Они характеризуются чёрной, реже пестроцветной окраской, иногда полосчаты и содержат необычную микролитовую минеральную ассоциацию: ультражелезистый кордиерит (секанинаит), муллит, силлиманит, герцинит, лабрадор-анортит, ильменит, тридимит и Fe-Tiоксиды армолколит-псевдобрукитового ряда. Протолитами бухитов служили в основном кварц-биотит-полевошпатовые черносланцевые пелиты (Р<sub>2</sub>), известные в выходах фундамента по юго-западному обрамлению плато. В ходе диффузионного взаимодействия с базальтовым расплавом и селективного плавления наблюдается последовательная бухитизация вещества этих ксенолитов с образованием ультраглинозёмистых, ультражелезистых, высокотитановых стёкол. Согласно минеральным парагенезисам преобладают монокордиеритовые (секанинаитовые) разности с переменным содержанием ильменита, ультражелезистого герцинита (f = 80 -99%) и армолколита. Секанинаиты образуют мономинеральную матрицу в селективно расплавленных ксенолитах (рис. 1) с размерами короткопризматических псевдогексагональных кристаллов 5–70 мкм. По величине железистости (f = 80-90% до 96%; табл. 2) они не имеет аналогов в природных магматических процессах. В составе одной ассоциации могут присутствовать минералы различного компонентного состава, что отражает аномально высокую вязкость подобных ультражелезистых, ультраглинозёмистых систем (до 25 мас.% FeO и 35 мас.% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) и крайне низкую диффузионную подвижность элементов [8]. Распространён ильменит-тридимитгерцинитовый тип бухитов с циркониевыми ильменитами, высокоалюминиевыми и циркониевыми фазами ряда псевдобрукит—армолколит. Более редки плагиоклаз-муллит-силлиманит-герцинитовые разности с реликтами частично расплавленного пелитового вещества и следами смешения бухитового

Таблица 2. Химический состав минералов бухитовых включений и стёкол из основной массы бухитов и базальтов

№ обр.	M-5332	M-5889	M-5871	M-5513	M-5332	M-5504	M-5507	M-5289	M-5504	M-5487	M-5843	M-5507	M-5120
Минерал	Skn	Skn	Skn	Skn	Hrc	Hrc	Arm	Arm	Arm	Arm	Ilm	Gl	Gl
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
SiO <sub>2</sub>	45,20	46,96	44,24	43,40	_	_	0,6	_	_	_	_	76,14	75,63
TiO <sub>2</sub>	0,22	_	_	_	0,79	0,52	62,33	72,97	60,04	56,89	46,73	0,4	0,08
$Al_2O_3$	32,09	29,56	30,21	33,59	50,12	54,57	1,94	2,17	2,56	2,77	0,36	14.15	11,79
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	_	_	_	_	0,17	0,62	_	-	_	_	_	_	-
ZrO <sub>2</sub>	_	_	_	-	_	_	1,56	0,31	0,67	1,33	0,14	_	-
$V_2O_3$	_	_	_	_	_	-	_	-	0,79	1,09	0,71	_	_
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	_	_	_	_	_	_	8,69	-	11,33	16,20	_	_	_
FeO*	20,87	14,34	20,31	14,28	49,12	42,71	21,17	19,47	23,04	19,87	48,56	0,76	0,60
NiO	_	_	_	_	_	0,42	_	-	_	_	_	_	_
CoO	_	_	_	_	_	_	0,08	-	0,025	_	0,15	_	_
ZnO	_	_	_	_	_	0,24	_	-		_		_	_
MnO	0,24	5,73	0,54	2,84	0,22	0,30	_	-	_	_	0,35	_	_
MgO	0,62	0,58	1,18	1,35	0,04	1,41	211	4,47	_	0,47	0,15	_	0,3
CaO	0,00	_	_	_	_	_	_	-	_	_	_	_	0,12
Na <sub>2</sub> O	_	_	_	_	_	_	_	-	_	_	_	3,26	0,91
K <sub>2</sub> O	0,26	0,21	_	_	_	_	_	_	_	_	_	7,49	7,66
CoO	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_
Сумма	99,50	97,38	96,48	95,46	100,46	100,79	97,88	99,39	98,43	98,5338	96,99	102,2	96,82
Si	4,895	5,153	4,943	4,806	_		0,020	_	_	_	_	_	_
Ti	0, 18	_	_	0,001	0,144	0,088	1,810	2,005	1,759	1,666	1,863	_	_
Al	4,096	3,823	3,978	4,384	14,016	14,872	0,088	0,093	0,117	0,126	0,022	_	_
Fe <sup>+3</sup>	_	_	_	_	1,672	0,832	0,252	_	0,332	0,473	_	_	
Cr <sup>+3</sup>	_	_	_	_	0,032	0,112	_	_	_	_	_	_	_
$Zr^{+4}$	_	_	_	_	_		0,030	0,006	0,012	0,026	0,004	_	_
$V^{+3}$	_	_	_	_	_	_	_	_	0,023	0,033	0,03	_	_
Fe <sup>+2</sup>	1,890	1,316	1,898	1.322	8,080	7,424	0,682	0,595	0,749	0,644	2,153	_	_
Mn	0,24	0,532	0,051	0.266	0,048	0,056	_	-	_	_	0,016	_	_
Mg	0,10	0,095	0,197	0.223	0,016	0,488	0,121	0,244	_	0,026	0,012	_	_
Ca	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_	_
Κ	_	0,029	_	_	_	_	_	-	_	_	_	_	_
Zn	_	_	_	_	_	0,04	-	-	_	_	-		_
Ni	_	_	_	_	_	0,08	_	_	_	_	_	_	_
Со	_	_	_		_	_	0,002	-	_	_	0,006	_	_
f	95,1	93,3	90,6	85,6	99,8	93,8	84,9	70,0	100	96,1	99,44	—	_

Примечание. \* — всё железо в секанинаитах определено как FeO. В армолколитах трёхвалентное железо рассчитано по методу [5]; в герцинитах по стехиометрии; ан. 1–4 — секанинаиты; 5–6 — герциниты; 7–10 — алюмо-циркониевые армолколиты; 11 — ильменит; 12, 13 — остаточная стеклофаза: 12 — в бухитах; 13 — в базальтах. Определения выполнены на микроанализаторах Сатеbах в Институте вулканологии и сейсмологии ДВО РАН и JXA-8100 ("Jeol", Япония) в Аналитическом центре ДВГИ ДВО РАН. Расчёт секанинаитов на 13; герцинитов на 32; армолколитов на 5; ильменитов на 6 кислородов;  $f = Fe^*/Mg + Fe^*$  мол.%; Fe<sup>\*</sup> = FeO + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

ДОКЛАДЫ АКАДЕМИИ НАУК том 489 № 5 2019



**Рис. 1.** Монокордиеритовый (секанинаитовый) бухит с гнёздами ультражелезистого герцинита. Skn — секанинаит; Hrc — герцинит.

и базальтового расплавов. В области их контакта образуется буферная анортозитовая зона лабрадорбитовнитового состава с магнетитом, отсутствующим в бухитах и раннем парагенезисе базальтов. Характерны закономерные срастания ильменита и армолколита с герцинитом, отражающие их равновесное выделение (рис. 2). Матрица (базис) бухитов слагается тридимитом, калиевым риолитовым стеклом, войлокоподобным агрегатом, состоящим из тонкоигольчатых выделений силиката алюминия и тридимита. Распространён также базис, образованный недиагностированной фазой, близкой по составу анортоклазу либо силикатам алюминия, но обогащённой фосфатом бария (куланитом?) (рис. 3). Содержания оксидов бария и фосфора достигают 5 мас.%. Накопление бария в бухитах необычно при

отчётливо выраженной декатионизации вещества. но согласуется с установленными повышенными концентрациями BaO и P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> в близких по генезису паралавах угольных горельников [4]. Петрологический интерес представляет группа Fe-Ti-оксидов, отвечающих по химическому составу и рентгеноструктурным характеристикам (a = 9,77; b = 9,95;c = 373) изоструктурной группе армолколит-псевдобрукита (табл. 2, рис. 2). Их составы близки Fe-Al-армолколитам [7] и характеризуются повышенными, но переменными содержаниями Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и крайне низкими концентрациями магния (табл. 2). Пониженные значения Ті/Fe относительно типовых армолколитов компенсируются высокими содержаниями Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и ZrO<sub>2</sub> (до 8 и 1,5 мас.% соответственно), стабилизирующих армолколит [8]. В ильменитах концентрации этих оксидов не превышают первых десятых мас.% (табл. 2). В тридимит-герцинитовых-бухитах обнаружены аномально высоколантановые монациты с содержаниями La, в два раза превышающими сумму других редких земель, при резко выраженном цериевом минимуме (табл. 4). Составы этих бухитов отличаются на порядок более высокими содержаниями лёгких REE при подобном монацитам их распределении (табл. 1, ан. 8,9).

Температуры кристаллизации минеральной ассоциации в бухитовых стёклах оценены с помощью кордиерит-шпинелевого термометра [12]. Вариации составов сосуществующих минеральных фаз, обусловленные высокой вязкостью этих силикатных систем, определили три интервала рассчитанных температур: 1080–1579, 835–972 и 420–650 °С с максимумом распределения значений для второго интервала.



**Рис. 2.** Армолколит-герцинит-секанинаитовый бухит. Trd — тридимит; Skn — секанинаит; Si–Al — матрица и реликтовые фрагменты силлиманитового состава. На врезке: Al–Zr-армолколит-герцинитовое срастание; Hrc — герцинит, Arm — армолколит.

Σ

96,24

99,66



**Рис. 3.** Несмесимость в селективно расплавленном ксенолите (бухите). Составы несмесимых расплавов-"суспензий": Scan-1 — силикатно-алюминиевый; Scan-2 — алюмосиликатный, калиево-фосфатно-бариевый; Scan-3 — рудно-силикатный (подчёркивается раскристаллизацией армолколит-герцинитового агрегата). Sp-1 — состав высокожелезистого кордиерита (секанинаита). Scan — участки сканирования (15–15) мкм.

#### ДЕСТРУКЦИЯ ВЕЩЕСТВА ПРИ ПЛАВЛЕНИИ

На начальных стадиях плавления пелитовых ксенолитов установлено явление деструкции и последующего диспергирования минералов на малые фрагменты с образованием сначала "айсберговых" структур, а затем мономинеральных "суспензий" фрактальных микрофаз. Образуются кварцевые, полевошпатовые, герцинит-ильменитовые "суспензии-предрасплавы". Они ведут себя подобно вязким жидкостям и проявляют отчётливую несмесимость (рис. 3). Их сохранение в стекловатых матрицах бухитов — результат аномально высокой вязкости последних.

В целом генезис ультраглинозёмистых бухитов представляет глубокую модификацию химического вещества пелитовых ксенолитов, выраженную десиликацией и селективной декатионизацией при диффузионном взаимодействии с базальтовым расплавом [9] с последующим расплавлением этого

ДОКЛАДЫ АКАДЕМИИ НАУК том 489 № 5 2019

рефракторного остатка. Аномальный химический состав минеральных фаз бухитов определялся накоплением в реститовом веществе Fe, Al, Ti, Zr, Ni, Cr с созданием ультраглинозёмистой, металлосиликатной композиции.

#### ИЗОТОПНЫЕ КРИТЕРИИ

Отчётливым изотопным критерием коровой (нижнекоровой) селективной контаминации служат низкие величины изотопных отношений ураногенных свинцов во всех типах базальтов Шуфанского плато с интервалом значений  $^{206}$ Pb/ $^{204}$ Pb = 17,20–17,80 (табл. 1), что отражает существование в фундаменте фрагментов древнего кратонного основания [3]. Если использовать объёмную модель контаминации [11], то базальтовые магмы должны ассимилировать до 90% нижнекорового вещества, чтобы объяснить значения  $^{206}$ Pb/ $^{204}$ Pb в описываемых лавах. Однако это не подтверждается вариациями величин главных петрогенных элементов. Ве-

дущий механизм контаминации должен заключаться в селективной экстракции малых объёмов обогащённых свинцом и LREE кремнекалиевых выплавок. Резкие различия в значениях свинцовых изотопных отношений для нижней и верхней коры позволяют оценить вклад соответствующих субстратов в процесс контаминации [6]. Для высоко-контаминированных базальтов верхнего покрова характерен рост значений  $^{206}$ Pb/ $^{204}$ Pb, особенно отчётливо выраженный для бухитовых включений ( $^{206}$ Pb/ $^{204}$ Pb > 18,20) (табл. 1), что отражает вовлечение в плавление и ассимиляцию верхнекорового вещества.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

 Варшал Б.Г. // Исследования структуры магматических расплавов. УНЦ АН СССР. 1981. С. 41–51.

- 2. *Максимов С.О., Сахно В.Г. //* ДАН. 2008. Т. 422. № 3. С. 359–363.
- 3. *Максимов С.О. и др. //* Литосфера. 2018. Т. 18. № 3. С. 390-415.
- Шарыгин В.В. и др. // Геология и геофизика. 2009. Т. 50. № 8. С. 910–932.
- 5. Bowles J.F.W. // Amer. Mineral. V. 73. P. 1377–1383.
- Dickin A.P., et al. // Contrib. Miner. Petrol. 1987. V. 96. P. 455–464.
- Hayob J.L., Essene E.J. // Amer. Mineral. 1995. V. 80. P. 810–822.
- Kesson S.E., Lindsley D.H. // Proc. Lunar Sci. Conf. 6th. 1975. P. 911–920.
- Markl G. // Contrib. Miner. Petrol. 2005. V. 149. P. 196–215.
- 10. *Thompson A.B.* // Amer. Jour. Sci. 1976. № 276. P. 425–444.
- Thompson R.N., et al. // Contrib. Miner. Petrol. 1982.
  V. 79. P. 159–168.

## SELECTIVE CONTAMINATION OF BASALTIC MAGMAS AND BUCHITE GENESIS (ON THE EXAMPLE OF SHUFAN PLATEAU, PRIMORYE)

S. O. Maksimov<sup>1</sup>, Corresponding Member of the RAS V. G. Sakhno<sup>1</sup>, N. A. Ekimova<sup>1</sup>, V. M. Chubarov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Far Eastern Geological Institute, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russian Federation <sup>2</sup>Institute of Volcanology and Seismology, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russian Federation

#### Received December 27, 2018

The article discusses the problem of large-scale contamination of the Shufan volcanic plateau's basalts (Primorye) by selective melts from xenoliths. Silicic and alkaline liquids, selectively extracted from xenoliths, mix in a limited way with basaltic melts forming bands of granophyre that give lavas a taxitic structure. The article describes the unique compositions of buchites that were chemically modified by the diffusion interaction with basaltic magma and selectively molten politic xenoliths. Their mineral associations are represented by a high ferriferous cordierite (sekaninaite), ultra-ferriferous hercynite, (Al, Zr) Fe-armalcolite, Zr-ilmenite, mullite, sillimanite, high-lanthanum monazite, and barium-phosphate-aluminosilicate phase. The chemical and mineral compositions of buchites reflect the accumulation of refractory elements (Al, Fe, Ti, Zr, Ni, Cr) in the restite material of xenoliths. It is followed by the formation of ultra-alumina, ultra-ferruginous, initially immiscible metal-silicate composition. Low Pb isotopic ratios in Shufan basalts suggest a selective contamination by an ancient cratonic basement's material. A consecutive increase of the isotopic ratios is observed the basalts contaminated by the upper crustal material, which is also shown by buchites' isotopic composition.

Keyword: Shufan basalt plateau, contamination, buchites, Zr-armalcolites, premelting "suspensions".