

УДК 551.242.3 (571.65)

НОВЫЕ ДАННЫЕ О СОСТАВЕ И СТРОЕНИИ ПЛУТОНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ХРЕБТА ТУМРОК (ВОСТОЧНАЯ КАМЧАТКА)

© 2007 А. Е. Ескин¹, С. Г. Сколотнев¹, Н. В. Цуканов²

¹ Геологический институт РАН, Москва, 109017

² Институт океанологии им. П.П.Ширшова РАН, Москва, 117997; e-mail: paleogeo@sio.rssi.ru

Получены новые данные по составу минералов и геохимии пород Андриановского интрузивного массива расположенного в поле развития верхнемеловых островодужных комплексов хр. Тумрок. Сопоставление петрографических особенностей, валового состава, содержания редких элементов и составов породообразующих минералов, слагающих его пород, показывает, что он имел сложную историю формирования. Комплекс полученных данных свидетельствует, что расплав, из которого формировались породы массива, имеет островодужную природу. При этом нижняя и средняя части массива, которые сложены дунитами, верлитами и различными габбро, сформировались из расплавов близких к деплетированным толеитам, а габбро-сиениты из верхней части разреза, представляющие собой закристаллизовавшийся высоко дифференцированный остаточный расплав, сформировались из субщелочных расплавов.

ВВЕДЕНИЕ

Мел-палеогеновые базит-гипербазитовые плутонические комплексы широко распространены в Восточных хребтах полуострова Камчатка. Они представлены преимущественно габброидными массивами, развитыми в поле вулканогенно-туфогенных образований островодужной природы, представляющими собой фрагменты Озерновско-Валагинского сегмента Ачайваям-Валагинской палеодуги (Аккреционная..., 1993). Данные о составе интрузивных комплексов отрывистые и малочисленные, хотя для понимания условий формирования островодужных вулканогенных образований они имеют большое значение.

Образования Озерновско-Валагинского сегмента Ачайваям-Валагинского террейна (рис. 1) островодужной природы обнажаются в горстовых выходах Восточных хребтов от полуострова Озерного на севере до Ганальского хребта на юге (Аккреционная..., 1993). В хребте Тумрок, характеризующем среднюю часть этого террейна, широко распространены вулканогенные и туфотерригенные образования позднемелового-раннепалеогенового возраста. По (Зинкевич и др., 1991) они расчленяются снизу вверх на пикрит-базальтовую, туфогенно-осадочную, базальт-андезитовую и терригенную (флишоид-

ную) толщи. Габброидные массивы картируются в поле развития пикрит-базальтовой и туфогенно-осадочной толщ. В районе исследований (рис. 1) в бассейне ручей Шумный эти толщи представлены незакономерным переслаиванием базальтов, лаво- и туфобрекчий, туфов, тонкообломочных туфогенно-осадочных пород и в верхней части разреза потоками лав пикритов. Базальт-пикритовая толща пронизана коагматичными дайками, силлами и некками основного-ультраосновного состава. Мощность даек долеритов достигает 2–3 м, а субвулканических тел пикритов и дунитов от 5 до 50 метров. Эффузивы толщи представлены потоками шаровых и массивных порфировых лав. По геологическим данным устанавливается тесная пространственная и временная связь ультраосновных и основных вулканических пород.

Изученный Андриановский интрузивный массив расположен в поле развития базальт-пикритовой толщи в междуречье руч. Шумного и р. Левый Толбачик, в районе оз. Олень. Единой точки зрения на строение и морфологию массива нет (Волынец, Колосков, 1976; Зинкевич и др., 1991; Марковский, Ротман, 1981; Эрлих, Шанцер, 1971). Большинство исследователей считает, что он относится к расслоенному типу массивов и представляет собой фрагмент сложно построенного субпластового тела, имеющего полигональ-

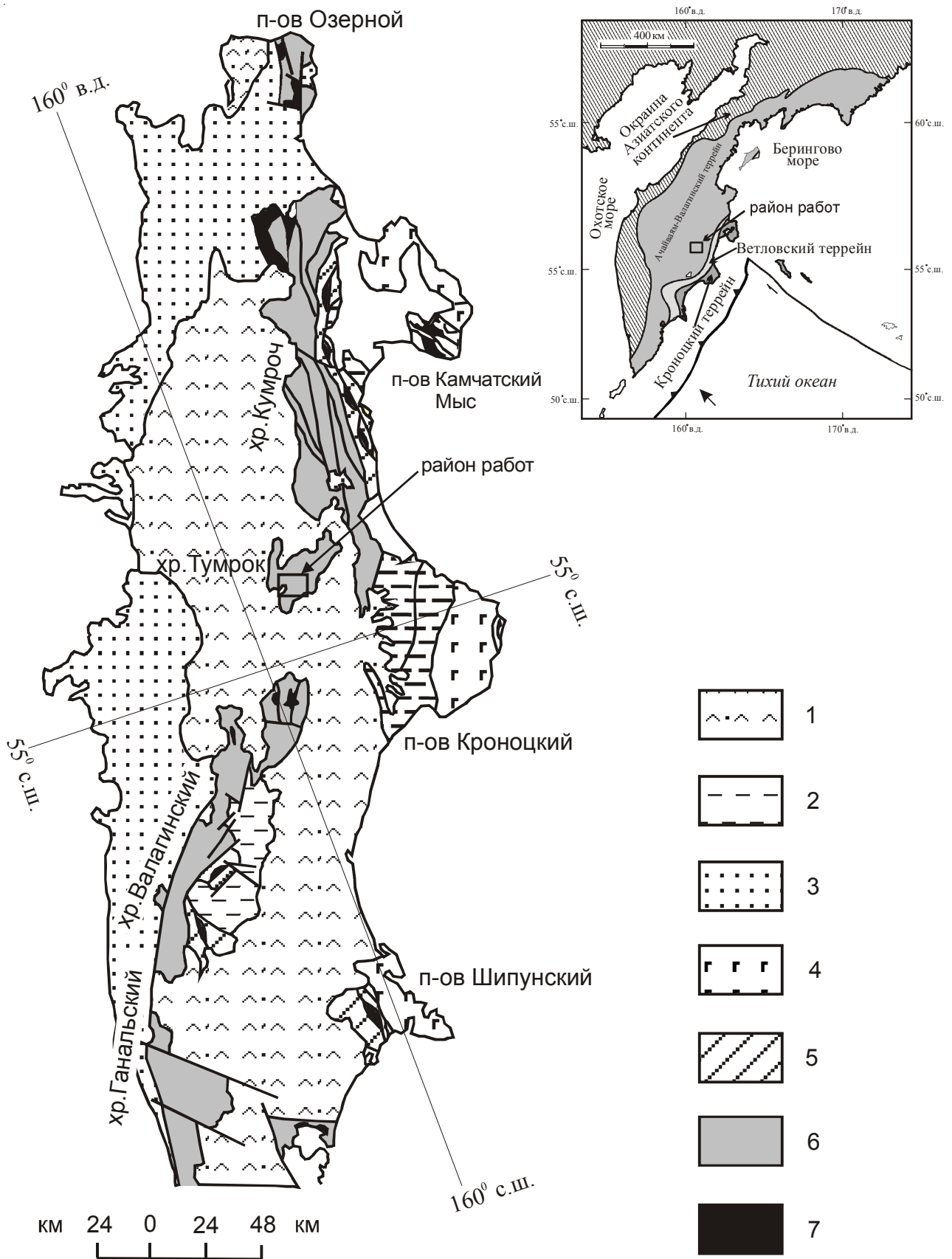


Рис. 1. Тектоническая схема Восточной Камчатки. 1 – Восточно-Камчатский вулканический пояс; 2 – Тюшевский прогиб; 3 – Центрально-Камчатский прогиб; 4-6 – тектоно-стратиграфические террейны: 4 – Кроноцкий; 5 – Ветловский; 6 – Озерновско-Валагинский; 7 – офиолитовые комплексы.

ные очертания в плане. Контакты с вмещающими породами в основном тектонические. Иногда в краевых частях массива отмечается магматическое брекчирование, где ксенолиты мелко-среднезернистых габбро заключены в лейкократовом матриксе. К контактовым частям массива часто приурочены дайки пикритов, которые также встречаются в виде ксенолитов. Нами были получены новые геохимические и минералогические данные по составу пород этого массива, которые позволяют уточнить условия их формирования и соотношение с вмещающими их эффузивами.

По данным (Зинкевич и др., 1991) предполагается, что выше аподунитовых серпентинитов, слагающих нижнюю часть Андриановского массива, при первичном ненарушенном залегании были развиты оливиновые пироксениты, троктолиты и пироксениты с большим количеством плагиоклаза, а в верхней части массива - лейкократовые габбро и сиениты. Мощности ритмов составляют около 40-70 м, в то время как общая мощность расслоенной части массива достигает 200-250 м.

Нами были отобраны и изучены образцы из нижней, средней и верхней частей массива в междуречье ручья Шумный и правых притоков р. Левый Толбачик. Нижняя часть массива сложена пироксенитами и оливиновыми пироксенитами. Выше обнажаются полосчатые габбро, которые расслаиваются невыдержанными по простиранию прослоями плагиоклазосодержащих верлитов (обр. 3/5). Границы между слоями постепенные. Развиты преимущественно пироксеновые (обр. 3/7), пироксен-роговообманковые и оливиновые средне- и крупнозернистые габбро. Местами они имеют полосчатую кумулятивную текстуру с чередованиями лейкократовых и меланократовых (мощность прослоев от 0.2-0.3 до 0.5-1 м) разностей, мелко-среднезернистых, крупно и гигантозернистых пород.

В средней части массива развиты преимущественно средне-крупнозернистые габбро (обр. 3/3 - в верхней части, обр. 3/4 и 3/6 - в нижней части). Наблюдается грубое чередование разномеланократовых пород различной меланократовости (меланократовый прослой (обр. 3/4б), лейкократового габбро (обр. 3/4а)). Встречаются участки брекчированной текстуры, где в лейкократовом матриксе (обр. 3/6а) располагаются блоки меланократовых пород (обр. 3/6б). К этой части массива приурочены многочисленные тела пикритов, которые имеют линзовидную форму и мощность до 2-3 м.

Верхняя часть массива сложена преимущественно лейкократовыми мелко- и среднезернистыми породами, в которых вблизи контакта с туфо-эффузивной толщей наблюдается ороговив-

кование вмещающих пород (обр. 3/2), а также брекчирование, где в лейкократовом матриксе находятся ксенолиты неправильной формы до 20-50 см (рис. 2). В этой части массива преобладают биотитсодержащие габбро-сиениты (обр. 3/1).

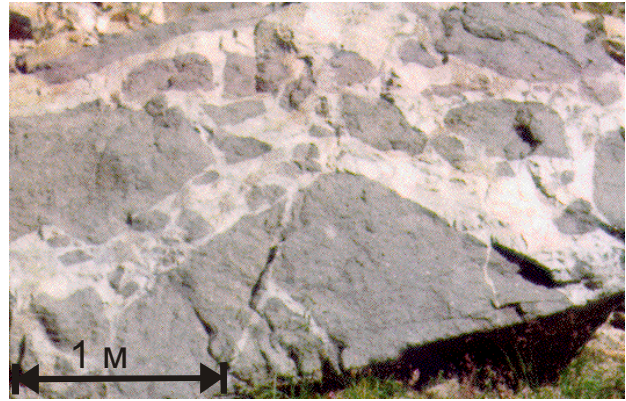


Рис. 2. Магматическое брекчирование в габбро.

На противоположном, правом, берегу руч. Шумного наблюдаются выходы дунитов (обр. 3/8). Относятся ли данные породы к Андриановскому массиву или представляют собой независимые магматические тела из-за плохой обнаженности на данном участке сказать трудно.

ПЕТРОГРАФИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ПОРОД

Габбро (обр. 3/7) отобрано в нижней части массива. Порода состоит из плагиоклаза (65%), клинопироксена (30-35%), рудного минерала (<5%), встречаются редкие зерна биотита. Плагиоклаз образует идиоморфные и гипидиоморфные таблитчатые кристаллы, а клинопироксен ксеноморфные и гипидиоморфные удлиненные зерна. В зернах клинопироксена встречаются пойкилитовые включения таблитчатых кристалликов плагиоклаза и округлых ксеноморфных выделений рудного минерала (магнетита). Биотит образует редкие неравномерно расположенные ксеноморфные зерна. Для габбро характерна среднезернистая структура и хорошо выраженная линейная ориентировка недеформированных удлиненных кристаллов плагиоклаза и пироксена, что указывает на кристаллизацию этих минералов в условиях течения магматического расплава.

Плагиоклазсодержащий верлит (обр. 3/5) отобран также в нижней части массива и состоит из оливина (35-40%) и клинопироксена (45-55%), содержит небольшое количество плагиоклаза (<5%), рудного минерала (<5%), встречаются редкие зерна биотита. Плагиоклаз ксеноморфный, находится в интерстициях между оливином и клинопироксеном. Некоторые кристаллы

клинопироксена содержат пойкилитовые включения идиоморфных кристаллов оливина и округлых выделений рудного минерала. Порода имеет неравномернозернистую структуру.

Биотитсодержащий лейкократовый габбро-сиенит (обр. 3/6а) из нижних горизонтов средней части массива сложен плагиоклазом (60%), клинопироксеном (35%), биотитом (<5%), рудным минералом (<5%) и акцессорными кристалликами апатита и выделениями сфена размером до 0.5 мм. Плагиоклаз образует гипидиоморфные таблитчатые кристаллы, а клинопироксен ксеноморфные зерна. В зернах клинопироксена встречаются пойкилитовые включения таблитчатых кристалликов плагиоклаза и округлых ксеноморфных выделений рудного минерала. Биотит распространен неравномерно, представлен удлиненными ксеноморфными зернами. Порода имеет среднезернистую структуру.

Меланократовый рудный плагиоклазосодержащий биотитовый верлит (обр. 3/6б) заключен в виде ксенолита угловатой формы в предыдущем образце лейкократового габбро (обр. 3/6а) и состоит из оливина (50%), клинопироксена (20%), биотита (20%), рудного минерала (5%) и плагиоклаза (5%). Все минералы ксеноморфны. Биотит выделяется крупным (до 6 мм) размером зерен, содержит пойкилитовые включения клинопироксена, оливина, плагиоклаза и рудного минерала.

Меланократовое оливиновое габбро (обр. 3/4б) из средней части массива состоит из плагиоклаза (40%), клинопироксена (50%), оливина (9-10%) и рудного минерала <1%. Плагиоклаз образует гипидиоморфные таблитчатые кристаллы, а клинопироксен и оливин округлые зерна. Клинопироксен содержит редкие пойкилитовые включения плагиоклаза. Рудный минерал присутствует главным образом в участках замещения оливина и заполняет трещины в его зернах.

Лейкократовое габбро (обр. 3/4а) переслаивается с предыдущими меланократовыми оливиновыми габбро (обр. 3/4б) и состоит из плагиоклаза (50-70%), клинопироксена (30-50%) и крупных (до 1 мм) акцессорных выделений сфена(?).

Оливиновое габбро (обр. 3/3) из верхов средней части массива состоит из плагиоклаза (50%), клинопироксена (30-35%), оливина (10%), рудного минерала (<5%) и редких зерен биотита. Встречаются пойкилитовые включения плагиоклаза в клинопироксене. Рудный минерал (магнетит) развит в виде локальных скоплений. В целом порода неравномернозернистая, имеет габбровую структуру. Образец 3/3 похож на оливиновое габбро 3/4б за исключением распространенного в этом образце биотита.

Биотитсодержащий лейкократовый габбро-сиенит (обр. 3/1) из верхней части массива состоит из плагиоклаза (60%), клинопироксена (30%), биотита (5%), рудных минералов (<5%) и акцессорного апатита. Плагиоклаз образует идиоморфные беспорядочно ориентированные лейсты с зональным строением. Клинопироксен более ксеноморфен, заполняет интерстиции между кристаллами плагиоклаза и содержит пойкилитовые включения плагиоклаза. Рудные минералы представлены ксеноморфными образованиями магнетита. Порода массивная, имеет офитовую среднезернистую структуру.

Дунит (обр. 3/8) из обнажения на правом берегу руч. Шумного целиком состоит из округлых зерен оливина. В небольшом количестве (первые проценты) в нем присутствуют выделения рудного минерала.

Образцы 3/9, 3/12, представлены пикритами из субвулканических тел по правому борту р. Шумный, образцы 3/15, 3/16 являются лавами пикритов, образующих потоки до 2-3м мощности в пикрит-базальтовой толще, образцы 3/10, 3/13 представлены базальтами, слагающими дайки в верховьях ручья Шумный. Образец базальта 2783е из верховьев ручья Шумный предоставлен Б.А. Марковским (ВСЕГЕИ).

Большая часть исследуемых пород подвержена сильным метаморфическим преобразованиям. Первичные породообразующие минералы в большинстве пород более чем на 50% замещены низкотемпературными гидротермальными минералами. Наибольшим изменениям подвержен плагиоклаз, в некоторых образцах он полностью замещен агрегатом соссюрита. Зерна оливина по краям и трещинам частично или полностью замещены серпентином и рудным минералом. По клинопироксену развивается магнезиальная роговая обманка и амфиболы актинолит-тремолитового ряда. Роговая обманка образует редкие коричневые ксеноморфные образования, располагающиеся вдоль краев и трещин в зернах клинопироксена. Актинолит-тремолитовые амфиболы представлены зеленоватыми выделениями неправильной формы и игольчатыми кристалликами. Они развиваются по зернам клинопироксена и по более ранним образованиям метаморфической магнезиальной роговой обманки. Для роговой обманки характерны более высокие содержания глинозема (Al_2O_3 - 10.5%), титана (TiO_2 - 0.35%) и натрия (Na_2O - 0.86%), по сравнению амфиболами актинолит-тремолитового ряда (табл. 1), для которых характерны более низкие содержания этих компонентов (Al_2O_3 - 0.3-1.7%, TiO_2 - 0.1-0.2%, Na_2O - 0.36%). Деформационные структуры в исследованных образцах отсутствуют, исключение составляет биотитсодержащий габбро-сиенит (обр. 3/1), в

Таблица 1. Составы порообразующих минералов из пород Андриановского массива

Плагиоклазы											
Образец	Точка	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	CaO	Na ₂ O	Всего	An#			
3/1	3	67.60	19.71		0.77	11.20	99.29	6.17			
3/1	6	66.51	20.15		1.65	10.39	98.70	13.21			
3/1	7	65.93	20.26	0.10	1.57	10.34	98.21	12.39			
3/3	1a	46.80	33.36	0.64	16.87	1.58	99.25	86.88			
3/3	3	46.14	33.25	0.64	16.58	1.47	98.08	86.87			
3/3	4	47.57	33.53	0.49	11.37	2.14	95.10	67.27			
3/3	1б	45.05	33.70	0.66	18.21	1.17	98.78	93.73			
3/3	2б	44.81	33.11	0.67	17.75	1.25	97.59	93.17			
3/3	3б	45.35	33.55	0.58	18.07	1.33	98.87	92.88			
3/6a	1a	62.49	20.19	0.12	2.81	9.55	95.16	21.54			
3/7	5	53.78	28.10	0.35	11.80	4.98	99.02	69.38			
3/7	6	52.47	28.14	0.42	12.08	4.57	97.68	71.68			
Клинопироксены											
Образец	Точка	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	Cr ₂ O ₃	Всего
3/1	4	53.80	0.20	0.77	6.01	0.41	15.21	24.37		0.15	100.94
3/1	5	52.67	0.08	0.14	6.53	0.19	14.80	24.72		0.23	99.36
3/3	5	49.35	0.63	2.46	10.00		14.21	19.99		0.98	97.62
3/3	6	53.39	0.17	1.15	5.37		15.88	24.15		0.22	100.33
3/3	2a	52.67	0.43		8.97		15.58	22.48			100.13
3/4б	2	50.12	0.78	4.06	9.17		14.00	21.97	0.59	0.23	100.93
3/4б	6	51.83	0.23	2.48	7.12	0.32	15.13	23.20	0.47	0.12	100.90
3/4б	7	51.27	0.45	2.76	8.52		15.06	21.83	0.47	0.13	100.49
3/4б	8	51.08	0.43	2.97	8.21		14.71	21.95	0.51	0.20	100.07
3/4б	1	51.64	0.32	2.34	8.60		15.15	21.95	0.54	0.16	100.69
3/4б	5	50.31	0.48	3.19	9.29		14.08	22.18	0.27	0.18	99.98
3/5	1	53.56	0.12		3.26		17.34	24.00	0.48	0.35	99.11
3/5	2	54.66	0.05	0.30	2.15		18.04	25.47	0.11		100.76
3/6a	2	51.34	0.10	0.28	6.13	0.43	13.86	24.22	0.36	0.88	97.60
3/6a	5	53.22			6.75		16.45	22.20	0.47		99.09
3/7	1	50.95	0.57	2.80	9.26	0.46	13.69	22.01		0.51	100.26
3/7	4	49.56	0.57	4.63	10.02		13.31	21.84	0.60	0.26	100.80
Оливин											
3/5	3	39.1			16.02		45.11				100.23
Биотиты											
3/5	6	37.54	4.48	14.25	8.22		19.61		0.76	1.01	85.86
3/5	7	37.86	4.12	14.48	7.77		20.32		0.82	0.76	86.13
3/6б	3	36.21	5.44	14.08	13.39	0.13	16.67		0.64	0.1	86.66
3/6б	4	36.44	4.64	14.5	13.54	0.12	17.17	0.63	0.54	0.12	87.69
3/6б	8	36.74	4.84	14.40	12.84		17.29		0.47		86.58
3/7	3	35.48	4.24	14.23	15.73	0.12	16.12	0.18	0.21	0.07	86.44
Рудные минералы											
3/1	1	0.06	0.22		93.78					0.15	94.21
3/1	2		0.12		92.05		0.25			0.10	92.51
3/3	1	0.3	0.69	0.96	88.32	0.23				1.10	91.59
3/3	7	0.24	1.07	1.29	86.13	0.16	0.64			2.56	92.07
3/4б	3		50.47		45.41	2.35	3.46			0.10	101.79
3/4б	4	0.21	49.93		44.83	2.40	3.21			0.15	100.73
3/5	4	0.54	0.75	0.74	87.95		1.00			2.92	93.89
3/6б	1	0.26		0.21	94.28					0.10	94.85
3/6б	2a				78.66					1.24	79.9
3/7	2		0.07	0.99	91.70						92.75
Амфиболы											
3/3	2	52.52	0.22	1.72	8.55	0.25	15.2	22.22		0.1	100.76
3/5	5	57.87	0.12	0.28	1.53		23.85	13.66	0.36		97.67

котором наблюдаются незначительная рекристаллизация плагиоклаза, и дунит (обр. 3/8), в котором интенсивной рекристаллизации подвержены зерна оливина.

АНАЛИТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

Изучение состава минералов (табл. 1) проводилось на микрозонде марки «JEOL» (Япония), при этом содержания главных элементов определялось с использованием энерго-дисперсионного спектрометра «INCA», а определение низких содержаний элементов осуществлялось кристалл-дифракционным методом на микроанализаторе «JXA-8100». Аналитические работы проводились в ВИМС (Москва). Определение содержаний петрогенных элементов в породах (табл. 2) проводилось во ВСЕГЕИ (Санкт-Петербург). Редкие

зированными зернами плагиоклаза. В габбро (обр. 3/7) из нижних частей массива плагиоклазы более кислые (An_{69-72}). В лейкократовом биотит-содержащем габбро-сиените (обр. 3/6а) из средних частей массива плагиоклазы имеют существенно более кислый состав ($An_{21.5}$). Наиболее кислые плагиоклазы (An_{6-13}) присутствуют в биотитсодержащих габбро-сиенитах (обр. 3/1) из самых верхних частей массива.

Оливин. Проанализированное зерно оливина из верлита (обр. 3/5) имеет состав $Fo_{83.4}$, близкий к оливинам ($Fo_{87-94.5}$) из вкрапленников пикритов пикрит-базальтовой толщи, описанных в работе (Зинкевич и др., 1991).

Клинопироксен в исследованных магматических породах массива представлен авгитом. Клинопироксены из верлита (обр. 3/5) имеют наиболее высокие содержания кальция, магния

Таблица 2. Валовый состав пород хребта Тумрок

Образец	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO*	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	ппп	Сумма
3/1	53.50	16.80	0.84	6.59	0.07	4.97	8.94	5.28	0.87	0.51	1.48	99.8
3/2	45.40	0.42	11.80	10.20	0.15	11.60	17.30	0.48	0.91	0.05	1.67	100.0
3/3	45.40	11.80	0.42	10.20	0.15	11.60	17.30	0.48	0.91	<.05	1.67	100.0
3/4а	44.50	17.70	0.46	3.78	0.12	4.46	25.50	<.05	0.05	0.21	3.35	100.0
3/4б	41.70	13.70	0.83	13.50	0.17	9.03	17.30	<.05	0.54	<.05	3.22	100.0
3/5	47.10	1.87	0.16	8.40	0.15	22.70	16.80	<.05	0.17	<.05	2.36	99.7
3/6а	51.90	14.60	0.52	8.17	0.07	7.83	10.30	3.77	0.92	0.33	1.48	99.8
3/6б	44.60	6.74	0.49	16.90	0.30	19.60	6.42	0.40	2.34	0.25	1.63	99.7
3/7	44.60	0.48	6.74	16.9	0.29	19.6	6.42	0.39	2.34	0.24	1.63	99.7
3/8	33.90	0.84	0.04	10.00	0.17	40.30	0.73	<.05	0.30	<.05	13.50	99.8
3/9	39.80	4.31	0.20	11.50	0.17	30.00	5.29	<.05	0.66	0.10	7.72	99.7
3/10	51.20	15.10	0.71	10.30	0.15	4.36	8.03	0.48	7.32	0.29	1.88	99.9
3/12	39.80	3.58	0.20	11.40	0.17	31.50	5.17	<.05	0.42	0.12	7.37	99.7
3/13	49.63	0.52	12.97	11.76	0.15	7.05	7.65	0.46	6.96	0.43	2.07	99.7
3/15	42.50	6.20	0.26	10.80	0.16	24.00	7.24	<.05	0.29	0.08	8.14	99.6
3/16	40.66	0.21	4.39	11.55	0.17	28.48	5.50	0.2	0.37	0.16	8.5	100.2
2783е	49.56	0.55	12.72	10.94	0.14	7.61	10.93	1.94	2.62	0.9	3.16	100.5

Примечание: ппп – потери при прокаливании

и редкоземельные элементы (табл. 3) определены методом ICP-MS в ИМГРЭ (аналитик Д.З. Журавлев).

СОСТАВЫ МИНЕРАЛОВ

Плагиоклаз. Наиболее основные плагиоклазы среди пород Андриановского массива обнаружены в образцах оливинового габбро (обр. 3/3) (An_{87-94}) из средней части массива (табл. 1). Но в этом же образце встречено зерно с существенно более кислым составом - (An_{67}). Следует отметить, что это зерно имеет высокие концентрация калия (K_2O - 2.34%) в сравнении с другими проанализи-

и очень низкую железистость (CaO - 24–25.47%; MgO - 17.3–18%; Fs_{3-5}). Для клинопироксенов из габброидов характерны меньшие, но примерно одинаковые концентрации кальция и магния (CaO - 20–24.7%; MgO - 13.3–16.5%), содержание железа в них заметно варьирует даже в пределах одного образца. Наименее железистые зерна ($Fs_{8.3}$) встречены в образце с наиболее основным плагиоклазом - обр. 3/3. Однако наряду с ними в этом образце существуют и более железистые клинопироксены ($Fs_{13.6-16.4}$). В габбро - обр. 3/7 - с более кислым плагиоклазом и авгит в целом более железистый - $Fs_{14.9-16.3}$. В среднем близкую железистость имеют клинопироксены оливи-

Таблица 3. Содержания элементов-примесей в породах хребта Тумрок

Элементы	3/1	3/4б	3/5	3/6а	3/6б	3/9	3/10
Cs	6.93	11.32	5.45	6.42	69.93	40.79	16.19
Rb	33.84	13.99	5.13	31.93	107.10	36.51	244.47
Ba	44.30	51.30	2.99	39.79	64.30	16.57	122.24
Th	9.75	0.74	0.48	15.65	8.07	1.22	7.52
U	18.56	1.74	1.73	29.59	13.95	3.56	13.77
K	40.23	24.82	7.78	42.55	108.30	32.87	
Ta	1.47	0.55	0.00	1.55	8.14	12.58	4.42
Nb	1.52	18.50	0.23	1.77	2.80	2.21	1.80
La	8.35	2.03	1.24	8.28	5.04	1.16	8.10
Ce	9.21	1.77	0.98	7.91	4.94	1.25	7.52
Sr	37.74	15.34	1.10	56.12	9.50	8.42	31.25
Nd	9.78	2.51	1.37	7.01	4.56	1.50	7.47
Pr	10.07	2.20	1.19	7.78	4.99	1.44	7.83
Hf	4.54	1.36	0.50	7.57	1.89	0.93	4.85
Zr	4.42	1.01	0.35	7.76	1.76	0.85	4.96
Sm	8.87	2.93	1.51	6.01	4.11	1.65	6.71
Eu	8.24	3.77	1.51	5.83	1.95	1.53	5.71
Ti	5.14	4.36	0.74	3.10	2.45	0.89	3.71
Gd	8.38	3.04	1.58	5.42	3.63	1.66	6.19
Dy	7.00	2.62	1.34	4.49	3.13	1.44	5.73
Y	7.34	2.61	1.36	4.96	3.43	1.48	6.32
Ho	6.62	2.50	1.26	4.27	3.02	1.35	5.62
Er	6.54	2.32	1.23	4.29	3.17	1.36	5.66
Tm	6.77	2.27	1.17	4.58	3.34	1.42	5.92
Yb	6.39	2.03	1.02	4.32	3.37	1.25	5.57
Lu	6.40	1.94	1.04	4.46	3.52	1.28	5.81

нового габбро 3/4б - $Fs_{13.1-14.8}$. Вопреки ожиданиям в габбро-сиенитах с очень кислым плагиоклазом (обр. 3/1 и 3/6а) клинопироксены имеют низкую железистость (Fs_{9-10}).

Биотиты проанализированы в трех образцах, в которых они отличаются по содержанию железа и магния. Наименее железистые (FeO 7.7–8.2%) и соответственно наиболее магниевые биотиты отмечены в верлите (обр. 3/5) из нижней части разреза, более железистые (FeO - 12.8–13.5%) - в верлите (обр. 3/6б) из средней части разреза и наиболее железистые (FeO - 15.7%) - в габбро (обр. 3/7) из нижней части разреза.

Рудные минералы в исследованных породах представлены главным образом магнетитом (FeO 78–94%, TiO_2 - до 1%). В одном из образцов оливинового габбро (обр. 3/4б) обнаружен титаномагнетит (FeO - 44.8–45.5%, TiO_2 - 49.9–50.5%).

ВАЛОВОЙ СОСТАВ ПОРОД

Содержания главных петрогенных элементов в исследуемых породах Андриановского массива сильно варьируют и коррелируются как с соста-

вом породообразующих минералов, так и с различным процентным содержанием тех или иных минералов.

В составе исследованных пород прослеживаются закономерные изменения содержаний некоторых петрогенных элементов (табл. 2) Для пород массива характерны низкие концентрации титана (TiO_2 - не более 0.84%, преимущественно - 0.40-0.50%), но сохраняется положительная корреляция содержаний TiO_2 и отношения FeO/MgO (рис. 3). Лейкократовые разности габброидов (обр. 3/1, 3/4а, 3/6а) имеют повышенные концентрации глинозема (Al_2O_3 - до 16.8%). Верлит (обр. 3/5) и дунит (обр. 3/8) отличаются от габброидов низким содержанием титана, глинозема, щелочей, фосфора и отношением FeO/MgO. Отношения FeO/MgO коррелируются с железистостью клинопироксенов, слагающих эти породы. Изменение концентраций щелочных компонентов (Na_2O+K_2O) напрямую связано с присутствием в породах биотита. Наиболее высокие содержания щелочей (Na_2O+K_2O - 4.7–6.2%) обнаружены в образцах габбро, содержащих наибольшее количество биотита (обр. 3/1 и 3/6а).

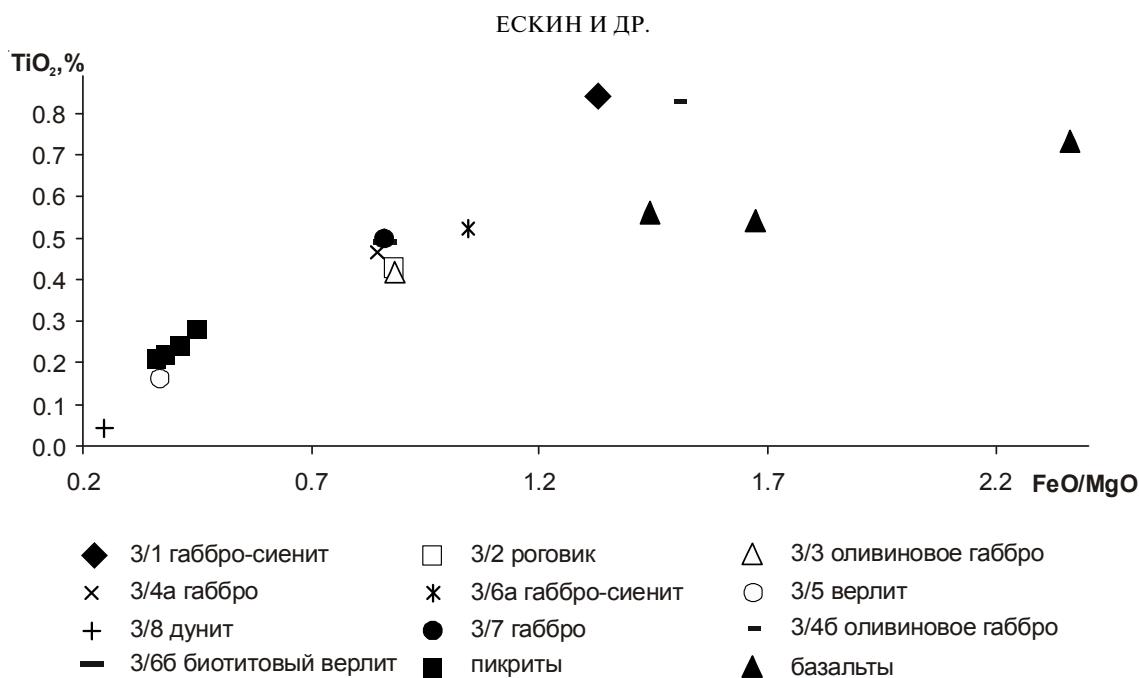


Рис. 3. Диаграмма FeO/MgO – TiO₂ для пород Андриановского массива и вулканитов хребта Тумрок.

Для этих пород также характерны наиболее высокие концентрации кремнезема (SiO₂ – 51.9–53.5%). На графике FeO/MgO – Na₂O+K₂O (рис. 4) составы проанализированных пород образуют два тренда. Один из них, характеризующийся накоплением щелочей по мере увеличения железистости пород, образован образцами, содержащими биотит в заметных количествах: 3/1, 3/6б, 3/6а. Другой тренд образован образцами, в которых биотит отсутствует, либо содержится в незначительных количествах: 3/3, 3/4а, 3/4б, 3/5, 3/8. Породы, содержащие оливин, выделяются

повышенными концентрациями магния, а высокие содержания фосфора в отдельных образцах габброидов связаны с присутствием в них апатита.

ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОРОД

В уровнях содержания элементов-примесей, включая редкоземельные элементы, в исследованных породах наблюдаются различия (рис. 5, табл. 3). Наиболее высокие содержания данных элементов имеют биотитсодержащие габбро-

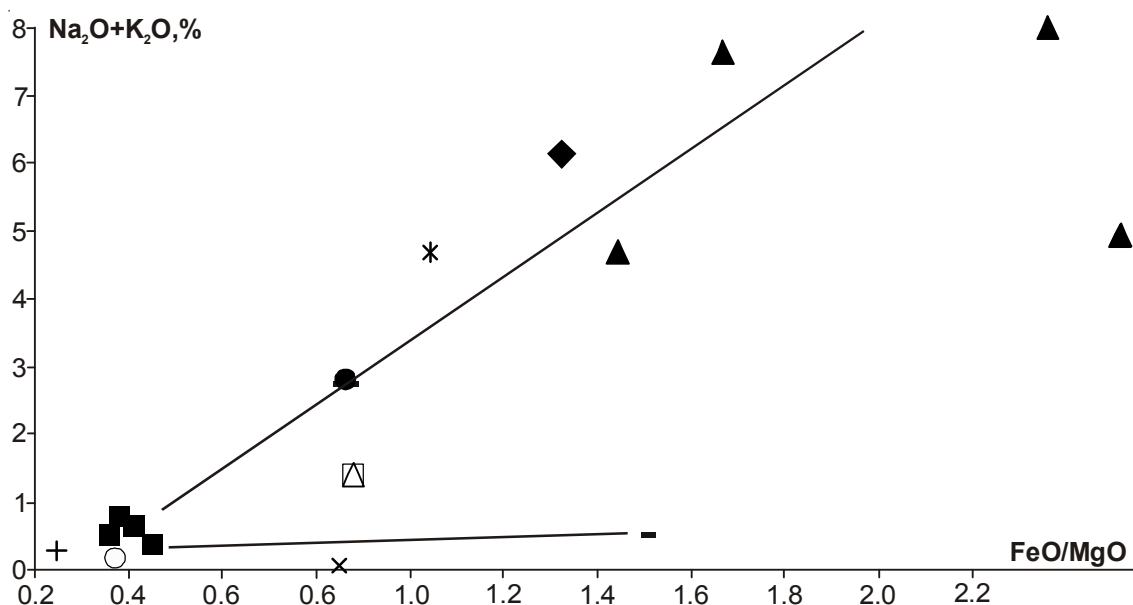


Рис. 4. Диаграмма FeO/MgO – Na₂O+K₂O для пород Андриановского массива и вулканитов хребта Тумрок. Условные обозначения см. на рис. 3.

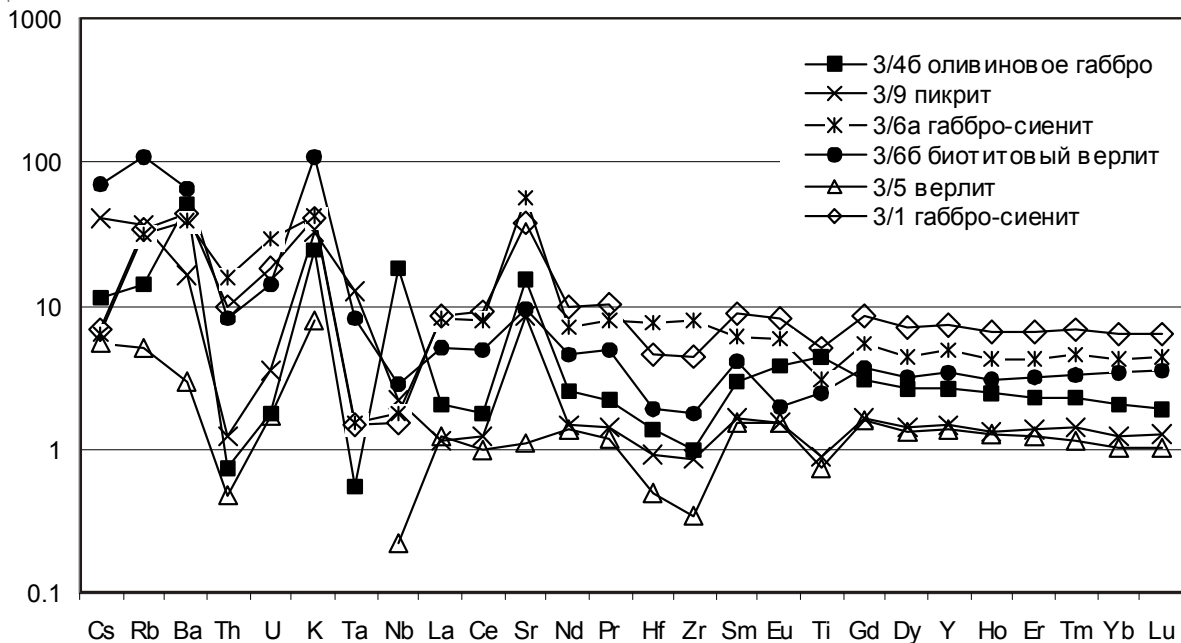


Рис. 5. Диаграмма распределения элементов-примесей в породах Андриановского массива и вулканиках хребта Тумрок.

сиениты (обр. 3/1 и 3/6а). Наиболее низкие содержания у верлита (обр. 3/5), а также у пикрита (обр. 3/9) из субвулканического тела, рядом с габброидным массивом. Средний уровень концентраций элементов-примесей имеют меланократовые породы: оливинное габбро (обр. 3/46) и верлит (обр. 3/66).

Ближние спектры распределения редкоземельных элементов (РЗЭ) наблюдаются у биотит-содержащих габбро-сиенитов (обр. 3/1 и 3/6а) и биотитового верлита (обр. 3/66). Они характеризуются слабым повышением кривой спектра от тяжелых земель к средним, и более крутым ее подъемом от средних к легким землям. Такое распределение РЗЭ характерно для производных субщелочных расплавов. Наличие незначительной отрицательной европиевой аномалии в габбро-сиените 3/1 показывает, что, вероятно, этот образец является закристаллизовавшимся остаточным расплавом. Об этом свидетельствует и его офитовая структура. Из этих трех образцов обр. 3/66 имеет очень интенсивную отрицательную аномалию европия, что является отражением практического отсутствия в нем плагиоклаза и указывает на то, что он является кумулятом, осевшим из этого субщелочного расплава. Совершенно иной характер спектра имеют образцы без биотита или с незначительным его содержанием: меланократовое оливинное габбро (обр. 3/46) и верлит (обр. 3/5). У этих образцов кривая спектра относительно резко поднимается от тяжелых к средним землям и затем резко снижается в сторону легких земель. Такой характер распределения близок к производным

деплетированных толеитовых расплавов, хотя очевидно, что эти породы относятся к кумулятам и спектры РЗЭ в них не могут напрямую отражать особенности первичных расплавов. В частности, о кумулятивной природе обр. 3/46 свидетельствует интенсивная положительная европиевая аномалия. Верлит (обр. 3/5) как кумулят сформировался на более ранних стадиях дифференциации, о чем свидетельствуют составы оливина и клинопироксена и незначительное количество плагиоклаза в нем. Поэтому в верлите отсутствует какая-либо аномалия европия.

Спайдер-диаграммы проанализированных образцов имеют ярко выраженные типоморфные признаки, указывающие на островодужную природу первичных магматических расплавов. Они представлены отрицательными аномалиями тантала, ниобия, титана и циркона и высокими содержаниями крупноионных литофильных элементов (Интерпретация геохимических..., 2001). Только в образце оливинного габбро 3/46 отсутствует отрицательная аномалия титана, что связано с присутствием в нем титаномагнетита (см. выше).

Во всех образцах, за исключением верлита (обр. 3/5), наблюдаются аномально высокие концентрации стронция. В меланократовом оливинном габбро (обр. 3/46) положительная аномалия стронция коррелирует с положительной аномалией европия и обусловлена большим содержанием кумулятивного плагиоклаза; в остальных образцах она, по-видимому, связана с присутствием биотита.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Сопоставление данных о положении изученных пород в разрезе Андриановского массива, их петрографии, валового состава, содержании редких элементов и составов породообразующих минералов указывает на сложную историю формирования этого массива. С одной стороны, в целом этот комплекс данных свидетельствует о том, что нижнюю и среднюю части массива слагают породы кумулятивной природы: дуниты, верлиты, оливиновые габбро, габбро, лейкократовые габбро, сформировавшиеся в результате осаждения более высокотемпературных фаз из расплава, а верхнюю часть разреза образуют габбро-сиениты, представляющие собой закристаллизовавшийся высоко дифференцированный остаточный расплав. О предполагаемой природе габбро-сиенитов говорит и увеличение кремнекислотности и щелочности габбро-сиенитов, и увеличение в них кислотности плагиоклазов, и существенно более высокие концентрации гигромагматофильных элементов-примесей.

Однако, с другой стороны, характер распределения РЗЭ пород из нижней и средней частей разреза и из верхней части разреза указывает на то, что первые сформировались из расплавов близких к деплетированным толеитам, а вторые из субщелочных расплавов. В обоих случаях расплав имеет островодужное происхождение. На наличие продуктов, производных двух различных типов расплавов, указывают и петрохимические данные. На вариационном графике $FeO/MgO - Na_2O + K_2O$ (рис. 4) отчетливо видны два разных тренда накопления щелочей по мере увеличения степени дифференциации. Один из них объединяет образцы верхней части разреза, где это накопление происходит, другой — образцы средней и нижней частей разреза, где накопления щелочей не происходит. Также следует отметить несоответствие составов плагиоклаза и клинопироксена в габбро-сиенитах. Более кислому плагиоклазу соответствует менее железистый клинопироксен в отличие от пород более нижних частей разреза. Это говорит о том, что кристаллизация габбро-сиенитов происходила в более окислительных условиях, обусловленных высоким содержанием флюидной фазы. В этих условиях расширяется поле кристаллизации магнетита, и железо уходит в этот минерал, обедняя клинопироксен.

Простому ходу фракционной дифференциации противоречит и обнаруженный факт наличия пород с более основным плагиоклазом и менее железистым клинопироксеном в средней части разреза. Это может указывать на то, что в ходе становления Андриановского массива имели место, по крайней мере, два этапа впрыскивания

расплава в данную магматическую камеру. При этом средняя часть разреза сформировалась в результате фракционирования более позднего расплава по сравнению с нижней частью массива, хотя исходные расплавы в обоих случаях были близки между собой.

Наличие двух типов исходных расплавов: толеитового и субщелочного подразумевает, что был и третий этап внедрения более позднего субщелочного расплава в магматическую камеру, при кристаллизации которого сформировалась верхняя часть разреза. Появление продуктов субщелочного расплава может означать, что на смену деплетированной мантии в качестве плавящегося мантийного субстрата пришел мантийный клин, содержащий вещество, обогащенное литофильными элементами. В принципе это возможно, но такой сценарий нашел бы отражение и в составе одновозрастных островодужных вулканитов хребта Тумрок. Однако состав как пикритов, так и базальтов однозначно указывает на толеитовую природу исходных расплавов. Принимая это во внимание, мы предполагаем, что субщелочной тип расплава сформировался в результате ассимиляции толеитовым расплавом вещества вмещающих пород. Ассимиляция происходила в ходе всей истории становления массива, но максимально ее влияние отразилось на составе продуктов кристаллизации наиболее дифференцированной остаточной жидкости. Химический эффект такой ассимиляции проявился в обогащении расплава щелочами, главным образом калием, водой и литофильными элементами-примесями, что и придало остаточному наиболее дифференцированному расплаву свойства субщелочного расплава, поскольку ассимилируемые компоненты имеют гигромагматофильные свойства и накапливались в расплаве. Петрографическим подтверждением ассимиляции является наличие биотита в том или ином количестве в породах и нижней, и средней частей массива и особенно в верхней части разреза. Минералогическими свидетельствами ассимиляции являются зависимость железистости биотита от железистости вмещающих его пород, появление высококальциевых плагиоклазов наряду с очень основными плагиоклазами и наличие в одних образцах высоко и низко железистых клинопироксенов.

Габбро-сиениты присутствуют не только в верхней части массива, но и в средней части разреза, где они являются цементом магматических брекчий (обр. 3/ба). Этот факт говорит о том, что высокодифференцированные остаточные расплавы проникали в уже затвердевшие кумуляты и взламывали их в силу высокого парциального давления флюидов. При этом происходило существенное изменение как химического, так и

минерального состава пород, в которые проникли эти расплавы (обр. 3/6б).

Интересно сопоставить составы пикритов и базальтов из островодужных комплексов, окружающих Андриановский массив, толеитовая природа которых была продемонстрирована в ряде предыдущих работ (Зинкевич и др., 1991; Соболев и др., 1989), с составами изученных пород. Пикриты по составу близки к дунитам и верлитам. Они имеют чуть более высокие концентрации титана (TiO_2 - 0.21-0.28%) и глинозема (Al_2O_3 - 3.87-6.77%) (см. табл. 2), примерно равные, но повышенные значения отношения железа к магнию (FeO/MgO - 0.36-0.45) и суммы щелочных компонентов (Na_2O+K_2O - 0.37-0.77%) (рис. 4). Уровень содержания редкоземельных элементов в исследованном образце пикрита (обр. 3/16) несколько выше, чем в верлите. Спектр распределения РЗЭ в пикрите близок к таковому в верлите, однако в отличие от него в пикрите не наблюдается такого резкого снижения относительных содержаний легкоземельных элементов (рис. 5). Все эти особенности состава однозначно свидетельствуют о комплементарности между верлитом и пикритом, то есть пикрит может являться остаточным расплавом после осаждения из материнского расплава кумулята подобного изученному верлиту. Изученные базальты в этом смысле по своим петро-геохимическим характеристикам комплементарны оливиновым габбро типа обр. 3/4б, они имеют толеитовый характер распределения РЗЭ, но с менее крутым понижением кривой на участке от средних к легким землям и отрицательную аномалию Eu (рис. 5). Таким образом, базальты в сравнении с пикритами формировались из более дифференцированных остаточных расплавов.

Сопоставление составов базальтов и пикритов с составами изученных пород Андриановского массива показывает, что и те, и другие формировались из близких исходных расплавов, имеющих толеитовый характер. Пикриты и базальты представляют собой излившиеся на поверхность в различной степени дифференцированные остаточные расплавы, из которых осели кумулятивные фазы, приведшие к образованию в первом случае пород типа верлита, во втором — типа оливинового габбро. Эффузивные разности совместно с интрузивными породами, слагающими Андриановский массив, представляют собой единый островодужный магматический комплекс, эволюционировавший в близких условиях из однотипных основных расплавов. В то же время нами не были найдены эффузивных аналоги наиболее дифференцированных остаточных расплавов. В случае Андриановского массива это биотитсодержащие габбро-сиениты, на состав которых оказало значительное влияние ассими-

ляция окружающих пород. Это является отличительной чертой плутонической составляющей островодужного магматического комплекса.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Комплексное изучение пород Андриановского массива показывает, что данный массив является плутоническим представителем единого островодужного магматического комплекса хребта Тумрок, сформировавшегося из исходных расплавов близких к островодужным толеитам.

2. Становление Андриановского массива имеет сложную историю, в ходе которой исходный расплав, по крайней мере, дважды впрыскивался в магматическую камеру.

3. Разнообразие петрографических разностей пород, различия в их составе и составе породообразующих минералов сформировались в процессе фракционной дифференциации исходных расплавов и ассимиляции вмещающих пород.

4. В ходе фракционной дифференциации возникали кумуляты: дуниты, верлиты, различные габбро, сформировавшие расслоенную структуру массива. На разных этапах дифференциации остаточные жидкости имели составы близкие к пикриту, затем базальту и, наконец, к габбро-сиениту. Остаточные жидкости типа пикритов и базальтов могли уходить за пределы магматической камеры и изливаться на поверхности либо формировать дайки и силлы. Наиболее дифференцированные магматические жидкости по составу близкие к габбро-сиениту кристаллизовались в магматической камере.

5. Химический эффект ассимиляции проявился в обогащении расплава щелочами, главным образом калием, водой и литофильными элементами-примесями. Ассимиляция происходила в ходе всей истории становления массива, но максимально это отразилось на составе продукта кристаллизации наиболее дифференцированной остаточной жидкости, поскольку ассимилируемые компоненты имеют гигромагматофильные свойства.

Авторы выражают благодарность Б.А. Марковскому и Б.И. Слядневу за помощь в проведении полевых работ и предоставлении дополнительного материала по основным эффузивам для аналитических работ. Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 05-05-64158).

Список литературы

Аккреционная тектоника Восточной Камчатки / Под. ред. Ю.М. Пушаровского. М.: Наука, 1993. 272 с.

ЕСКИН И ДР.

- Волынец О.Н., Колосков А.В.* Плагиоклазы четвертичных эффузивов и малоглубинных интрузивов Камчатки // Новосибирск: Наука. Сиб. отд., 1976. 234 с.
- Зинкевич В.П., Данюшевский Л.В., Каменецкий В.С. и др.* Геология и петрология меловых и палеогеновых вулканических пород Тумрокского выступа (Восточная Камчатка) // Тихоокеанская геология. 1991. № 4. С. 84-99.
- Интерпретация геохимических данных / Под ред. Е.В. Склярова. М.: Интермет-Инжиниринг, 2001. 287 с.
- Марковский Б.А., Ротман В.К.* Геология и петрология ультраосновного вулканизма. Л.: Недра, 1981. 247 с.
- Соболев А.В., Каменецкий В.С., Кононова Н.А.* Новые данные по петрологии и геохимии ультрамафических вулканитов Валагинского хребта (Восточная Камчатка) // Геохимия. 1989. № 1. С. 1694-1709.
- Эрлих Э.Н., Шанцер А.Е., Кутыев Ф.Ш.* Меймечиты Восточной Камчатки // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1971. № 2. С. 3-10.

THE NEW DATA ON COMPOSITION AND STRUCTURE OF KUMROCH PLUTONIC COMPLEXES (EASTERN KAMCHATKA)

A. E. Eskin¹, S. G. Skolotnev¹, N. V. Tsukanov²

¹ *Geological institute RAS, Moscow, 109017*

² *P.P. Shirshov Institute of Oceanology RAS, 117997*

The new data on mineral composition and geochemistry of Andrianovsky Pluton located in Upper Cretaceous island arc complexes of Tumrok Range were obtained. The comparison of petrographic and petrochemical features, rare earth elements content and rock-forming minerals composition shows that it has complicated evolution history. The data obtained justify that the mother melt of Pluton rocks has island arc nature. The lower and middle parts of the massif composed by dunites, vehlrites and gabbroic rocks have originated from the depleted tholeiitic melts. The gabbro-syenites from upper part of the section represent the crystallized high-differentiated residual melt and were formed from sub-alkaline melts.