

МИНЕРАЛОГИЯ, ПЕТРОГРАФИЯ, ЛИТОЛОГИЯ

УДК 552.323.4

Т.А. ШИШКИНА, П.Ю. ПЛЕЧОВ, М.В. ПОРТНЯГИН

УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ОЛИВИН-ПЛАГИОКЛАЗОВЫХ КУМУЛЯТОВ
ВУЛКАНА КСУДАЧ (КАМЧАТКА)

Исследованы алливалиты, изверженные в 1907 г. из конуса Штюбеля вулкана Ксудач. Описаны структурные и текстурные особенности кумулятов, составы минералов и расплавных включений в оливине. Установлено, что родоначальные расплавы алливалитов — низкокалиевые базальты, содержащие SiO_2 49–52, K_2O 0,2–0,5, CaO 11–12, MgO 4,4–6,6 мас. %. Содержание элементов-примесей в стекловатых включениях характерно для островодужных расплавов. Выявлены параметры кристаллизации оливин-плагиоклазовой ассоциации из этого расплава: давление (P) $1\text{--}2 \cdot 10^2$ МПа, температура (T) 965–1035°C, содержание воды 2,9–3,3 мас. %, фугитивность кислорода на уровне $\text{NNO}+1,5$. Наблюдаемые вариации состава породообразующих минералов и расплавов возможны при кристаллизации от 25 до 41% родоначального расплава. Моделирование кристаллизации родоначального базальтового расплава с помощью программы Petrolog III показало, что составы непрерывной серии пород вулкана Ксудач невозможно получить за счет фракционирования базальтового расплава и что в формировании пород значительную роль играла гибридизация с кислыми расплавами.

Крупнокристаллические оливин-плагиоклазовые и клинопироксен-оливин-плагиоклазовые породы с кумулятивной структурой, встречаются в виде блоков разных размеров в пирокластических отложениях среднего или кислого состава многих вулканов Камчатки (Кихпиньч, Ксудач, Камбальный, Ильинский, Желтовский, Кошелевский, Мутновский, Малый Семейчик, Карымский) [2, 3, 10, 12]; главной Курильской дуги (вулканы — Менделеева, Кудрявый, Тао-Русыр, Эбеко, кальдеры — Головнина, Немо, Заварицкого) [5, 8, 10]; во внешних зонах вулканических дуг Северной Японии (Миякеджима, Некома, Ришири, Акаги) [17, 28]; в вулканах Малой Антильской дуги [18]. Российские исследователи такие оливин-плагиоклазовые включения традиционно называют алливалитами [10].

Кумулятивная природа этих включений доказана многочисленными исследованиями [2, 10, 15, 18]. Альтернативные гипотезы рассматривали алливалиты как перекристаллизованные мантийные ксенолиты или ксенолиты пород фундамента вулканов [7], или реститы, возникшие при частичном плавлении мантии [6]. В [10] показано, что оливин-анортитовый кумулят в ряде вулканов Курило-Камчатской островной дуги накапливался в крупных магматических камерах в относительно спокойных условиях при T 970–1080°C, P 10^2 МПа, окислительной обстановке на уровне буфера $\text{NNO}+1$ из водонасыщенного расплава. Структурное и тек-

стурное разнообразие алливалитов объясняется перекристаллизацией обломков кумулятов в очаге или при транспортировке к поверхности.

В данной статье оливин-анортитовые нодулы, обильные в продуктах извержения 1907 г. вулкана Ксудач, рассматриваются более детально: изучены структурные и текстурные особенности, минеральный состав и составы расплавных включений в минералах. На основе этих данных рассчитан состав исходного расплава, оценены параметры кристаллизации минералов и степень фракционирования расплава. Проведено численное моделирование кристаллизации базальтовых расплавов в широком диапазоне условий для того, чтобы определить характер связи оливин-плагиоклазовых кумулятов с кислой пирокластикой, выносящей их на поверхность.

История развития вулкана Ксудач

Вулкан Ксудач (51°49' N (северной широты), 157° 32' E (восточной долготы), IAVSEI Number: 1000-05) расположен в юго-восточной части Камчатского п-ова, во фронтальной вулканической зоне Камчатки. В строении вулкана выделяют пять кальдер. Обширные кальдеры I и II сформировались в позднем плейстоцене, а меньшие по площади кальдеры III, IV, V — в голоцене [33]. В пределах кальдеры V расположен активный стратовулкан — конус Штюбеля, последнее сильное извержение из

которого произошло в 1907 г. Голоценовые кальдеры вулкана Ксудач подробно описаны в [1, 24, 30, 31, 33].

Кальдера III возникла в результате извержения KS_4 около 7900 г. до н. э. после длительного затишья вулканической активности в течение 1—1,5 тыс. лет. Общий объем изверженного материала оценивается в 1,5—2 км³. Продукты извержения представлены пемзовыми бомбами и лапиллями. На начальных стадиях извергались светлые риодацитовые пемзы, а на завершающих — темные андезитовые и дацитовые [33].

Кальдера IV образована вследствие двух крупных извержений: KS_3 (5200 лет до н. э.) и KS_2 (4900 лет до н. э.) [33], сформировавших обширные эксплозивные брекчии и пирокластические потоки. Общий объем двух извержений составил 10—11 км³, 70—80% относятся к продуктам KS_2 . Продукты извержения KS_3 — белые риодацитовые и желтоватые дацитовые пемзы с небольшой примесью лапиллей черных андезитов, KS_2 — толща серых и сиреневых полосчатых пемз, андезитовых по валовому составу. В их толще широко распространены включения алливалитов и эвкритов [2, 23]. За формированием кальдеры IV последовал рост экструзивных куполов общим объемом 0,5 км³ [33].

Кальдера V сформировалась в результате извержения KS_1 в 240 г. н. э. Объем выброшенной тefры составил 18—19 км³. Толщи пемзовых бомб и лапиллей белого и серого цветов, риодацитового состава практически не содержат примеси более основного материала [33].

В дальнейшем извержения вулкана Ксудач происходили из конуса Штюбеля, который начал расти в кальдере V спустя 100 лет после ее провала (около 1700 лет назад) [24]. Формирование конуса Штюбеля связано с умеренно эксплозивными извержениями и экструзиями лав. Позже произошли три крупных эксплозивных извержения $KSht_1$ (1100 л. н.), $KSht_2$ (300 л. н.), $KSht_3$ (1907 г.) [33] с объемом выброшенного материала до 2 км³. В толще отложений каждого из этих извержений выделяют нижнюю часть, представленную черными андезитобазальтовыми лапиллями и бомбами шлака, и верхнюю, сложенную светлыми пемзовыми дацитовыми и риодацитовыми лапиллями и бомбами. [33]. Пемзовые отложения этих извержений обогащены обломками эвкритов и алливалитов [2, 23, 32].

Таким образом, массовые находки обломков алливалитового (и эвкритового) состава на вулкане Ксудач приурочены к отложениям нескольких крупных извержений: KS_2 — в полосчатых пемзах андезитового состава, и конуса Штюбеля: $KSht_1$, $KSht_2$, $KSht_3$ — в слоях дацитовых и риодацитовых пемз. Нами исследовались образцы алливалитов (обр. Ks-1, Ks-2, Ks-3), выброшенные на поверхность при извержении 1907 г. ($KSht_3$), любезно предоставленные авторам С. Чирковым и Л. Аникиным в виде обломков породы размером 10×12 см (обр. Ks-2, Ks-3) и раздробленного материала (обр. Ks-1).

Методика исследования

Структурные и текстурные особенности, составы минералов и стекол в алливалитах изучались в прозрачно-полированных шлифах, изготовленных на эпоксидной смоле, а также в зернах из фракции 0,5—1 мм.

Первичные частично раскристаллизованные расплавные включения в оливинах фракции 0,5—1 мм из образцов Ks-1 и Ks-3 гомогенизированы при температуре 1200°C и буфере ССО в муфельной печи с силитовыми нагревателями в лаборатории экспериментальной петрографии МГУ. После закалки включения были выведены на поверхность образца. Анализировались только стекловатые включения диаметром не менее 20 мкм.

Определение химического состава минералов и стекол в алливалитах проводилось с помощью энергодисперсионной приставки «LinkSystem-10000» к электронному микроскопу «Camscan-4DV» (лаборатория локальных методов исследования вещества геологического факультета МГУ, аналитики Е.В. Гусева и Н.Н. Коротаева) при стандартном рабочем напряжении 15 кВ. Минеральные фазы анализировались в точке (3×3 мкм), а стекла — в сканирующем режиме площадками размером не менее 10×12 мкм. В каждом стекловатом включении проводились 2—3 анализа, которые усреднялись. Содержание воды и редких элементов в стеклах получены с помощью вторично-ионной масс-спектрометрии (Cameca-ims4f в ИМИИ РАН, г. Ярославль) по методике [13].

Петрография и минералогия алливалитов

Алливалиты образованы кумулятивным агрегатом идиоморфных и гипидиоморфных зерен плагиоклаза и оливина и более ксеноморфных зерен клинопироксена. Размеры зерен породообразующих минералов составляют от 0,1 до 2 см. Алливалиты обладают кумулятивной, порфирированной структурами (рис. 1, а, б, в). Текстура массивная или, в случае неравномерного распределения минералов в породе, пятнистая.

Минеральный состав алливалитов (в об. %): Ks-2 — Pl 50, Ol 30, Cpx 20; Ks-3 — Pl 35, Ol 35, Cpx 30. Особенность алливалитов вулкана Ксудач состоит в том, что составы минералов в пределах одного образца практически одинаковы, но заметно различаются в разных (обр. Ks-1: $Fe_{74,8-75,9}$, $An_{92,0-93,8}$; обр. Ks-2: $Fe_{78,7-79,9}$, $An_{94,3-96,4}$; обр. Ks-3: $Fe_{79,7-80,8}$, $An_{92,5-94,6}$) (табл. 1, рис. 2). Установлено, что составы породообразующего оливина и включений оливина в плагиоклазе аналогичны. Такая же закономерность выявлена для породообразующего плагиоклаза и включений плагиоклаза в оливине, что свидетельствует о совместной кристаллизации этих минералов и отсутствии существенных изменений составов минералов после кристаллизации. Состав клинопироксена определен в образце Ks-2: $En_{42-44}Fs_{11-12}Wo_{45-46}$ (табл. 1). Содержание титаномагнетита в алливалитах не превышает 5%. Интерстициальная масса представляет собой бурое, час-

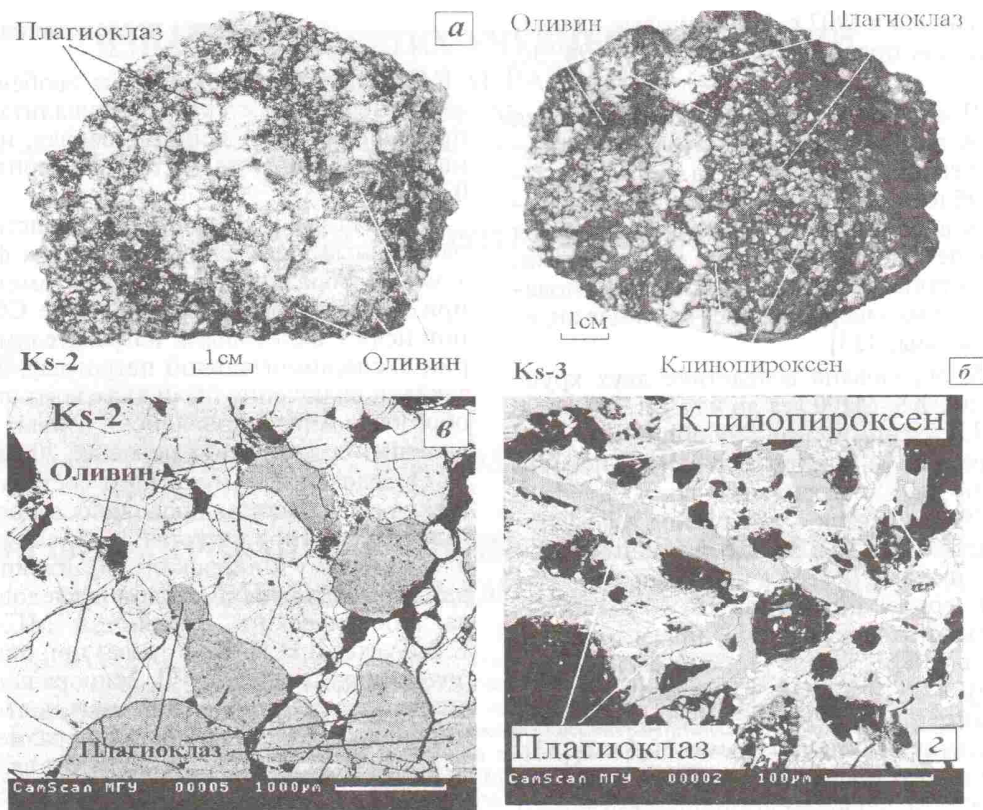


Рис. 1. Алливалиты вулкана Ксудач: а — с кумулятивной структурой (обр. Ks-2), б — с порфировидной структурой (обр. Ks-3), в — кумулятивный агрегат оливина и плагиоклаза (обр. Ks-2) (в отраженных электронах); г — раскристаллизованное интерстициальное стекло в алливалите (обр. Ks-2) (в отраженных электронах)

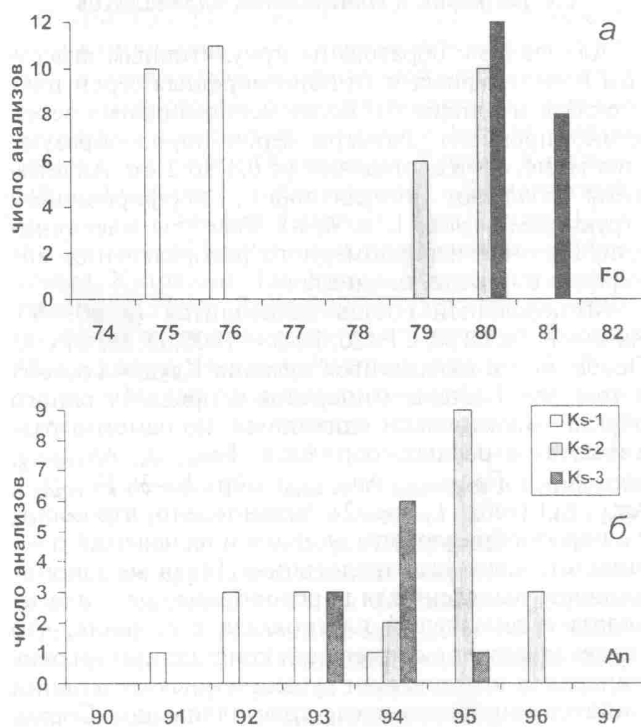


Рис. 2. Составы оливина и плагиоклаза в образцах алливалитов вулкана Ксудач: Fo — магниальность оливина (мол. %); An — кальциевость плагиоклаза (мол. %)

точно раскристаллизованное, пористое вулканическое стекло базальтового состава (SiO_2 48,5–50,2 мас. %) (табл. 2, рис. 1, г). Микролиты, сцементированные остаточным стеклом (SiO_2 70,0–71,8 мас. %), представлены игольчатыми и футляровидными выделениями плагиоклаза (An_{68-77} обр. Ks-2), изометричными угловатыми и дендритовидными кристалликами клинопироксена ($\text{En}_{27-42} \text{Fs}_{22-28} \text{Wo}_{130-48}$, обр. Ks-2) и мелким изометричным титаномагнетитом (табл. 2).

Расплавные включения и родоначальные расплавы алливалитов

Для определения условий образования алливалитов вулкана Ксудач изучались первичные расплавные включения в оливине размером не менее 20 мкм (обр. Ks-1 и Ks-3) (рис. 3). Были проанализированы 19 включений в обр. Ks-1 и семь включений в обр. Ks-3. Составы закаленных гомогенизированных стекловатых включений приведены в табл. 3.

Составы родоначальных расплавов алливалитов (табл. 4) рассчитывались по составам стекловатых включений с учетом содержания воды по методике предложенной в [10], с использованием модели [26].

Родоначальные расплавы алливалитов являются низкокальциевыми базальтовыми (SiO_2 48–52, K_2O 0,13–0,70 мас. %). Содержание главных петрохимических компонентов в расплавах в пределах одного образца изменяется незначительно, но при

Таблица 1

Составы породообразующих минералов алливалитов вулкана Ксудач

Образец	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO-t	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Сумма	Mg#
Оливин											
Ks-1 (21)	38,45 (0,22)	—	—	21,79 (0,27)	0,50 (0,07)	37,67 (0,21)	0,20 (0,07)	—	—	98,66	75,5 (0,3)
Ks-2 (16)	38,20 (0,27)	—	—	19,25 (0,28)	0,31 (0,06)	41,90 (0,65)	0,21 (0,04)	—	—	99,97	79,05 (0,5)
Ks-3 (20)	39,26 (0,17)	—	—	17,81 (0,24)	0,39 (0,08)	40,89 (0,21)	0,20 (0,04)	—	—	98,60	80,4 (0,3)
Плагиоклаз											
Ks-1 (7)	43,94 (0,41)	—	35,38 (0,42)	0,72 (0,03)	—	—	19,08 (0,11)	0,81 (0,08)	—	99,95	92,9 (0,7)
Ks-2 (13)	43,71 (0,47)	—	35,76 (0,47)	0,54 (0,16)	—	—	19,47 (0,18)	0,55 (0,08)	—	100,03	95,2 (0,7)
Ks-3 (10)	43,74 (0,32)	—	35,68 (0,2)	0,68 (0,04)	—	—	19,35 (0,2)	0,72 (0,08)	—	100,17	93,7 (0,7)
Клинопироксен											
Ks-2-Срх4	51,41	0,39	3,07	6,84	0,39	15,57	21,97	0,05	—	99,68	80,2
Ks-2-Срх4А	51,12	0,32	3,28	6,85	0,15	15,36	22,27	0,14	—	99,48	80,0
Ks-2-Срх1	50,33	0,53	3,73	7,05	0,20	15,03	22,41	0,28	—	99,56	79,2
Ks-2-Срх10	50,57	0,56	3,86	7,33	0,23	14,50	22,32	0,32	—	99,68	77,9

Примечание. Содержания компонентов — в мас. % оксидов; в скобках рядом с номером образца — число анализов; в скобках рядом с содержанием — стандартное отклонение; прочерк — содержания ниже чувствительности прибора; Mg# — магнезиальность для оливина и пироксенов, Ап — кальциевость плагиоклаза.

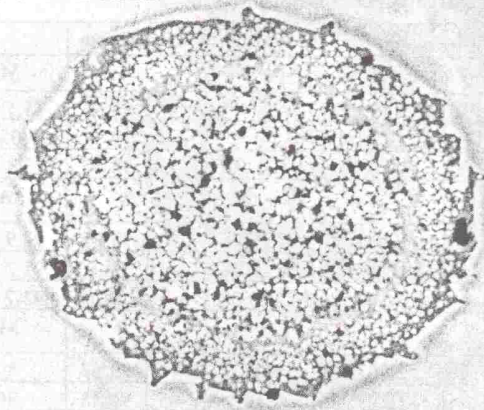
Таблица 2

Составы раскристаллизованного и остаточного вулканических стекол и микролитов (обр. Ks-2)

Номер анализа	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO-t	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Cr ₂ O ₃	P ₂ O ₅	S	Cl	Сумма
Раскристаллизованное вулканическое стекло														
KSUD-M1	49,65	0,89	18,80	9,13	0,20	4,33	11,75	2,25	0,27	—	0,10	0,19	0,18	97,75
KSUD-M2	49,01	0,69	19,10	9,31	0,16	5,23	11,48	2,14	0,22	—	0,09	0,18	0,14	97,75
KSUD-M3	49,83	0,85	18,88	9,61	0,12	4,27	12,09	2,22	0,25	—	0,06	0,17	0,14	98,48
KSUD-M4	49,33	0,81	17,70	10,57	0,17	4,86	11,38	2,71	0,26	—	0,09	0,00	0,22	98,09
KSUD-M5	49,71	0,87	18,69	8,32	0,17	3,78	14,39	2,40	0,19	—	0,08	0,06	0,10	98,75
KSUD-M6	50,21	0,56	17,29	10,36	0,11	4,99	11,41	2,13	0,25	—	0,13	0,15	0,18	97,79
KSUD-M7	49,20	0,92	13,73	14,77	0,30	8,04	8,81	2,41	0,32	—	0,00	0,15	0,10	98,74
KSUD-M8	48,45	0,79	21,00	10,26	0,19	3,42	9,97	3,03	0,20	—	0,22	0,17	0,05	97,75
Остаточное стекло														
KSUD-G1	71,79	0,67	14,60	3,92	0,13	0,39	3,27	2,84	1,38	—	0,38	0,04	0,43	99,85
KSUD-G2	69,99	0,59	15,44	4,15	0,19	0,51	3,58	3,52	1,33	—	0,26	0,03	0,39	100,00
KSUD-G3	71,34	0,65	14,59	3,81	0,14	0,51	3,72	3,13	1,39	—	0,35	0,00	0,38	100,00
Плагиоклаз (микролиты)														
														Ап
KSUD8	51,81	—	28,93	1,61	—	0,26	13,67	3,36	—	—	—	—	—	69,2 99,64
KSUD-PL1	49,95	—	30,18	1,30	—	0,21	14,78	3,18	—	—	—	—	—	72,0 99,61
KSUD-PL2	50,63	—	30,16	1,03	—	0,22	14,43	3,35	—	—	—	—	—	70,4 99,80
KSUD-PL6	49,44	—	30,32	1,54	—	0,19	15,55	2,61	—	—	—	—	—	76,7 99,66
KSUD-PL8	51,08	—	29,80	1,13	—	0,14	14,00	3,64	—	—	—	—	—	68,0 99,78
Клинопироксен (микролиты)														
														Mg#
KSUD-CPX1	47,37	1,73	5,28	13,29	—	11,67	19,77	0,38	—	—	—	—	—	61,0 99,48
KSUD-CPX2	46,66	1,53	6,57	16,51	—	13,69	13,83	0,39	—	—	—	—	—	59,6 99,17
KSUD-CPX6	44,48	1,38	7,84	15,17	—	8,97	21,34	0,27	—	—	—	—	—	51,3 99,45
KSUD9	43,60	1,68	9,80	13,08	0,25	9,35	21,56	0,56	—	—	—	—	—	56,0 99,87
Титаномагнетит (микролиты)														
KSUD-MT1	0,35	7,06	3,14	85,25	—	1,59	0,15	0,07	—	—	—	—	—	— 97,61
KSUD-MT8	0,83	8,41	4,69	82,16	—	1,19	0,26	0,35	—	—	—	—	—	— 97,88
Хромшпинелид в оливине														
														Ol-хозяин
SP50-4	—	2,38	33,08	41,47	0,14	11,86	—	—	—	10,72	—	—	—	80,4 99,64
SP50-5	—	1,69	35,98	38,32	0,29	12,36	—	—	—	11,25	—	—	—	80,6 99,89

Примечание. Содержания компонентов — в мас. % оксидов, S, Cl, — мас. % элементов, Ol-хозяин — магнезиальность оливина, содержащего включения хромшпинелидов, прочерк — не установлено.

ОЛИВИН



а

CamScan МГУ 00055 10µm

Газовый
пузырек

ОЛИВИН



б

CamScan МГУ 00017 10µm

Рис. 3. Расплавные включения в оливине: а — неомогенное расплавное включение (обр. Ks-3); б — частично гомогенизированное стекловатое включение (обр. Ks-1) (в отраженных электронах)

Таблица 3

Составы стекловатых включений в оливине

Образец	Номер включения	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO-t	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Fo	D
Ks-1	G17-1	48,94	0,72	14,06	15,64	0,50	8,45	9,57	1,89	0,16	0,06	75,2	60
	G18-1	50,28	0,85	15,55	14,61	0,47	4,69	11,06	2,17	0,21	0,11	75,8	59
	G20-1	49,45	0,63	13,85	14,65	0,44	10,13	9,07	1,38	0,32	0,09	75,6	105
	G21-1	49,79	0,72	14,84	14,77	0,44	7,27	10,16	1,59	0,24	0,19	75,6	57
	G22-1	49,63	0,80	14,16	15,65	0,27	7,98	9,77	1,44	0,27	0,04	75,7	60
	G22-2	49,64	0,77	15,17	15,37	0,23	6,90	10,13	1,43	0,28	0,08	75,9	50
	G-32-1	51,94	0,90	15,77	14,02	0,46	3,82	10,83	2,00	0,21	0,06	75,3	42
	G32-2	53,01	1,09	17,44	12,03	0,27	1,80	11,78	2,27	0,22	0,08	74,9	21
	G33-1	50,36	0,75	15,21	14,46	0,41	6,66	10,15	1,66	0,25	0,10	76,0	40
	G33-2	49,50	0,72	14,84	14,93	0,33	7,73	9,80	1,69	0,33	0,14	75,7	75
	G34-1	50,73	0,81	14,98	14,70	0,38	5,41	10,78	1,91	0,20	0,10	75,2	60
	G34-2	51,08	0,92	16,08	14,23	0,36	3,36	11,24	2,53	0,12	0,10	75,5	30
	G35-1	51,15	0,82	14,97	14,76	0,38	5,24	10,45	1,96	0,21	0,06	75,4	55
	G36-1	49,04	0,70	13,75	15,17	0,41	9,72	9,26	1,17	0,56	0,23	75,4	80
	G37-1	51,04	0,73	15,24	14,75	0,38	4,63	10,98	2,00	0,22	0,04	75,4	55
	G38-1	49,67	0,82	14,88	14,52	0,45	7,83	9,72	1,51	0,44	0,16	75,2	55
	G38-2	50,23	0,66	15,35	13,81	0,24	7,32	9,79	1,94	0,56	0,10	75,7	55
	G-39-1	50,34	0,67	13,97	13,95	0,28	9,76	8,74	1,80	0,37	0,12	74,9	110
Ks-1-8	50,65	0,90	16,51	13,87	0,31	4,15	10,95	2,11	0,19	0,06	75,6		
Ks-3	G-40-1	49,50	0,75	16,30	12,54	0,10	7,35	11,30	1,85	0,24	0,07	80,2	65
	G-42-1	49,99	0,89	18,60	11,00	0,28	4,08	12,27	2,41	0,37	0,11	79,7	40
	G29-1	49,38	0,94	18,18	11,55	0,16	4,63	12,17	2,55	0,29	0,16	80,7	40
	G30-3	50,19	1,01	16,79	11,61	0,17	6,66	11,09	2,08	0,24	0,16	80,1	60
	G44-1	48,93	0,59	17,83	10,64	0,36	8,57	11,12	1,65	0,19	0,12	80,6	60
	G47-1	49,59	0,96	16,74	11,71	0,25	7,31	11,21	1,78	0,24	0,21	80,2	60
	G51-1	49,07	0,68	15,94	12,05	0,32	8,78	10,65	1,96	0,24	0,30	80,6	60

Примечание. Содержание элементов (в мас. % оксидов) приведено к 100% без учета воды; Fo — магнезиальность оливина-хозяина; D — диаметр включения, мкм.

этом петрохимически отличаются расплавы из разных образцов. Родоначальные расплавы обнаружены в оливинах состава Fo_{79,7-80,8} (обр. Ks-3), а более фракционированные расплавы — в оливинах Fo_{74,8-75,9} (обр. Ks-1). Родоначальные расплавы характеризуются более низким содержанием SiO₂ (48,0–49,5 мас. %), более высокими количествами

MgO (5,8–6,6 мас. %) и Al₂O₃ (17,1–18 мас. %). В эволюционировавших расплавах установлены следующие содержания (в мас. %): SiO₂ 50,3–52,0, MgO 4,4–5,1 и Al₂O₃ 16,2–16,9. Количества других компонентов в этих расплавах практически не различаются: FeO-t 9,1–10,2 мас. % (все железо как FeO), CaO 10,3–12,0, Na₂O 1,4–2,6 (табл. 4).

Составы родоначальных расплавов алливалитов

Образец	Номер включения	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	H ₂ O	Сумма	T(°C)	lgfO ₂	dNNO	Fo	An	Olv%	Plg%	
Ks-1	G17-1	50,31	0,86	16,54	1,59	8,27	0,60	4,67	11,31	2,25	0,20	0,07	3,34	100	972,7	-9,65	-0,7	74,4	81,0	21	79	
	G18-1	50,42	0,90	16,25	1,64	8,24	0,50	4,77	11,61	2,29	0,23	0,12	3,04	100	979,7	-9,54	-0,6	75,0	79,7	25	75	
	G20-1	51,08	0,76	16,67	1,43	8,45	0,54	4,87	10,95	1,68	0,39	0,11	3,07	100	982,0	-9,51	-0,6	74,4	87,8	26	74	
	G21-1	50,64	0,81	16,56	1,47	8,41	0,50	4,85	11,39	1,79	0,27	0,22	3,08	100	979,0	-9,55	-0,6	74,6	86,1	25	75	
	G22-1	51,33	0,95	16,65	1,35	8,03	0,32	4,64	11,54	1,70	0,32	0,05	3,12	100	970,2	-9,69	-0,6	74,6	87,4	24	76	
	G22-2	50,56	0,87	16,94	1,43	8,44	0,26	4,92	11,36	1,61	0,31	0,09	3,20	100	979,6	-9,54	-0,6	74,8	89,3	24	76	
	G-32-1	51,99	0,93	16,21	1,41	7,98	0,48	4,51	11,18	2,07	0,22	0,06	2,97	100	972,4	-9,66	-0,6	74,2	81,8	26	74	
	G32-2	51,53	1,05	16,47	1,47	7,95	0,25	4,40	11,18	2,16	0,21	0,08	3,26	100	965,7	-9,77	-0,7	73,9	81,7	21	79	
	G33-1	50,99	0,82	16,60	1,45	8,38	0,45	4,93	11,12	1,82	0,27	0,11	3,05	100	984,7	-9,46	-0,6	75,0	85,8	26	74	
	G33-2	50,29	0,81	16,60	1,67	8,73	0,37	5,08	10,99	1,90	0,37	0,16	3,01	100	992,9	-9,33	-0,6	74,9	84,9	26	74	
	G34-1	51,46	0,89	16,24	1,41	7,93	0,42	4,45	11,75	2,08	0,22	0,11	3,04	100	965,1	-9,78	-0,6	74,1	81,8	25	75	
	G34-2	50,88	0,95	16,37	1,53	7,83	0,37	4,45	11,50	2,60	0,13	0,11	3,29	100	968,0	-9,73	-0,7	74,8	76,8	20	80	
	G35-1	51,90	0,89	16,16	1,42	7,97	0,41	4,54	11,33	2,13	0,23	0,07	2,94	100	973,5	-9,64	-0,6	74,4	81,0	26	74	
	G36-1	50,93	0,87	16,80	1,34	8,00	0,51	4,58	11,36	1,44	0,70	0,28	3,20	100	965,4	-9,77	-0,7	74,3	91,3	23	77	
	G37-1	51,57	0,78	16,20	1,40	7,97	0,41	4,51	11,73	2,14	0,23	0,04	2,99	100	969,6	-9,70	-0,6	74,3	81,0	26	74	
	G38-1	50,48	0,94	16,78	1,52	8,33	0,52	4,74	11,00	1,71	0,50	0,19	3,30	100	973,9	-9,64	-0,7	74,3	87,8	22	78	
	G38-2	50,49	0,73	16,60	1,74	8,66	0,26	5,01	10,62	2,11	0,61	0,11	3,06	100	998,0	-9,26	-0,6	75,0	82,6	25	75	
	G-39-1	51,70	0,80	16,47	1,56	8,32	0,33	4,63	10,33	2,14	0,44	0,15	3,13	100	984,8	-9,46	-0,6	73,9	82,0	24	76	
	Ks-3	G-40-1	49,39	0,80	17,24	1,31	7,96	0,11	5,86	11,98	1,97	0,26	0,08	3,04	100	1014,6	-9,00	-0,5	79,8	85,6	48	52
		G-42-1	48,22	0,84	17,38	1,61	8,34	0,26	5,81	11,51	2,27	0,35	0,11	3,31	100	1014,4	-9,01	-0,6	79,1	83,0	23	77
G29-1		48,05	0,91	17,46	1,55	8,03	0,16	5,94	11,73	2,47	0,28	0,16	3,28	100	1020,3	-8,92	-0,5	80,3	81,1	32	68	
G30-3		49,57	1,05	17,13	1,43	7,95	0,18	5,72	11,35	2,14	0,25	0,17	3,07	100	1015,0	-9,00	-0,5	79,4	83,6	24	76	
G44-1		47,86	0,60	18,02	1,45	8,90	0,36	6,56	11,26	1,69	0,20	0,12	2,98	100	1036,4	-8,68	-0,5	79,8	90,9	28	72	
G47-1		49,05	1,01	17,31	1,37	8,03	0,26	5,80	11,64	1,86	0,25	0,23	3,18	100	1009,2	-9,08	-0,6	79,4	87,2	24	76	
G51-1		49,00	0,75	17,21	1,37	8,03	0,35	5,93	11,54	2,14	0,26	0,33	3,09	100	1017,6	-8,96	-0,5	79,8	83,9	25	75	

Примечание. T(°C) — температура котектической кристаллизации оливина и плагиоклаза; lgfO₂ — fugitivity кислорода; dNNO — отклонение fO₂ от значения буфера NNO в логарифмических единицах; Fo — магнезиальность оливина, кристаллизующегося из расплава; An — кальциевость плагиоклаза, кристаллизующегося из расплава; Oliv% — содержание оливина в кумюляте; Plg% — содержание плагиоклаза в кумюляте.

Концентрации элементов-примесей, определенные в пяти расплавных включениях из образцов Ks-1 и Ks-3, имеют ярко выраженный Nb-минимум и максимумы Pb и Sr, что характерно для типичных островодужных расплавов [14] (табл. 5, рис. 4, а). График распределения содержания редкоземельных элементов пологий, без ясно выра-

что не позволяет использовать геохимию расплавов для определения степени фракционирования расплава [22].

Содержание воды в исходном расплаве определено методом вторично-ионной масс-спектрометрии в стекловатых включениях в оливине и составляет 2,9—3,1 мас. % H₂O (табл. 3).

Таблица 5

Содержание элементов-примесей в расплавных включениях из оливинов алливалитов вулкана Ксудач

Номер включения	Образец	Fo	H ₂ O	B	Va	Th	U	Nb	K	La	Be	Ce	Pb	Sr	Nd	Zr	Hf	Sm	Eu	Ti	Dy	Y	Er	Yb	Li
34-1	Ks-1	76,6	3,00	15,9	54,7	0,1	0,11	0,4	1396	1,9	0,29	5,4	10,7	233,3	4,9	24,0	1,0	1,7	0,7	4930	2,5	17,2	2,1	2,1	4,6
35-1	Ks-1	76,6	3,11	16,2	58,8	0,2	0,06	0,6	1461	2,4	0,26	5,2	20,3	230,3	5,4	28,7	1,3	1,9	0,8	5036	2,6	16,6	2,0	2,2	4,6
37-1	Ks-1	76,8	3,00	16,6	60,0	0,1	0,11	0,5	1534	2,1	0,28	5,3	18,2	244,6	5,0	26,6	1,2	1,8	0,8	5142	2,7	17,2	1,8	2,2	4,7
Ks-1-8	Ks-1	75,6	—	—	59,7	0,2	0,07	0,4	—	1,8	—	5,1	2,3	244,2	4,7	27,1	0,9	2,0	0,7	—	2,7	15,9	1,8	1,7	—
47-1	Ks-3	81,0	2,92	11,7	62,1	0,2	0,08	0,9	1517	2,6	0,27	7,8	4,1	274,1	6,3	32,5	1,2	2,3	0,8	5351	2,5	14,5	1,7	1,8	3,5

Примечание. Содержание элементов-примесей — в ppm, H₂O — в мас. %, Fo — магнезиальность оливина-хозяина.

женных минимумов и максимумов (рис. 4, б). При этом отмечены низкие отношения La/Sm, La/Ce и низкие содержания калия по сравнению с типичными островодужными базальтами [14]. Содержание элементов-примесей в расплавах из разных образцов практически одинаковы. Например, содержание Zr варьирует от 24 (Ks-1) до 32 (Ks-3) ppm (в пределах относительной погрешности измерений),

Условия формирования алливалитов

Валовые составы алливалитов вулкана Ксудач отличаются от составов расплавов, зафиксированных в оливинах алливалитов, пониженными содержаниями SiO₂, K₂O, Na₂O и TiO₂. Количества Al₂O₃, FeO, MgO, CaO в алливалитах варьируют в широких пределах, что является следствием различных

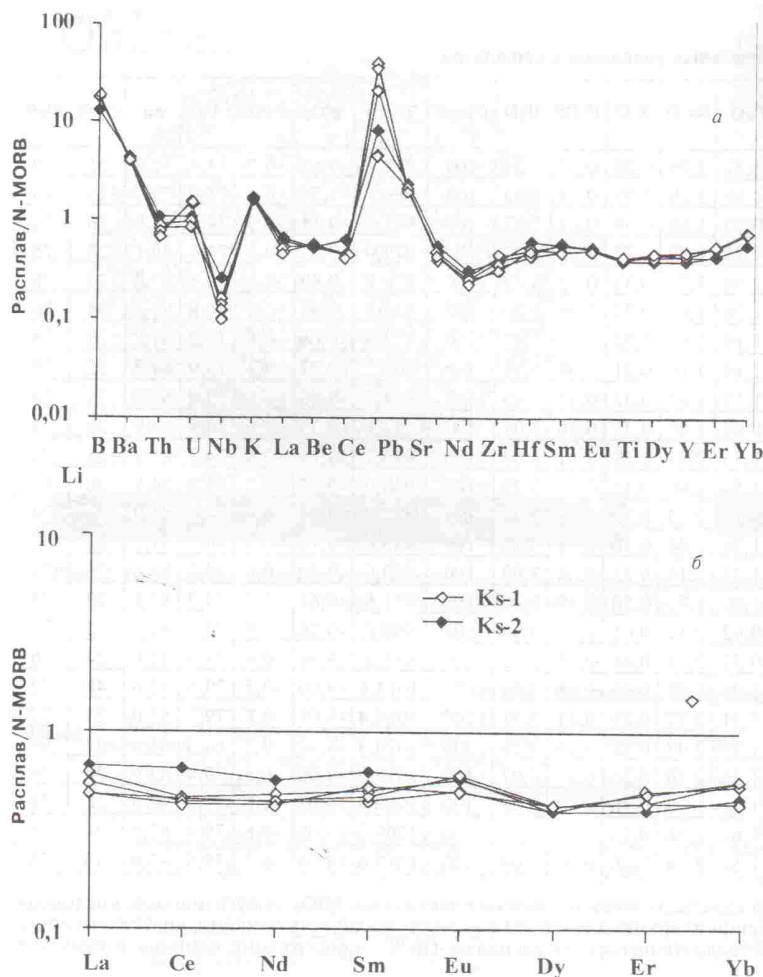


Рис. 4. Диаграммы распределения элементов-примесей (а) и РЗЭ (б) в расплавленных включениях, нормированных к N-MORB [27]

соотношений ОI, РI и СРх в образцах. Действительно, составы алливалитов лежат в пределах поля, образованного линиями, соединяющими составы породообразующих минералов (рис. 5).

Составы родоначальных расплавов сходны с составами интерстициального стекла в алливалитах (рис. 5), но последнее характеризуется более широкими интервалами содержаний (мас. %): MgO 3,4–8,0, Al₂O₃ 13,7–21,0, FeO 8,3–14,8 (все Fe как FeO), CaO 8,8–14,4, Na₂O 1,2–3,3, что можно объяснить разной степенью раскристаллизованности стекла.

По составам включений хромшпинелида в оливине (обр. Ks-3), по методике [20], рассчитана фугитивность кислорода, которая соответствует окислительной обстановке на глубине 1–2 · 10² МПа. Такие значения были подобраны с помощью программы Petrolog III и согласуются с геофизическими данными о глубине залегания верхней границы магматической камеры — 3,5 км [4]. Измеренные содержания воды в расплавленных включениях (2,9–3,1 мас. %) соответствуют условиям водонасыщенности при давлении 1–2 · 10² МПа.

Температуры кристаллизации (965–1036°С, табл. 4) оценены по равновесию между оливином-хозяином и расплавленным включением с использованием модели оливин–расплав [25] по методике, описанной в [10].

Моделирование кристаллизации родоначального расплава

Вариации составов расплавов во включениях, по-видимому, объясняются эволюционированием состава магмы в ходе накопления оливин-плаггиоклазовых или оливин-плаггиоклаз-клинопироксеновых кумулятов. Вероятность такого процесса можно показать на примере моделирования совместной кристаллизации оливина и плаггиоклаза из определенного нами родоначального расплава.

Моделирование проводилось с помощью программы Petrolog III [9]. Для оливина и плаггиоклаза использовалась модель [25]. Такая кристаллизация возможна при содержании воды 2,9–3,3 мас. %, фугитивности кислорода на уровне NNO+1,5, давлении 1–2 · 10² МПа. Температура котектической кристаллизации для разных расплавов составляет 965–1035°С.

При моделировании фракционной кристаллизации оливина и плаггиоклаза из родоначального расплава (MgO 6,65 мас. %), зафиксированного в самом магниальном оливине Fo_{80,7} (обр. Ks-3), до формирования максимально эволюционировавшего расплава (MgO 4,4 мас. %) в оливине Fo_{74,9} (обр. Ks-1) было получено 25% кумулята, содержащего 65 % плаггиоклаза (An₈₈) и 35 % оливина (Fo₇₆).

При моделировании кристаллизации тройной котектики: оливин+плаггиоклаз+клинопироксен при тех же условиях получение максимального эволюционировавшего расплава алливалитов достигается при образовании 41% кумулята, содержащего 52% плаггиоклаза (An_{86,5}), 10% оливина (Fo_{74,5}) и 38% клинопироксена (Mg# = 76,4).

Таким образом, для достижения спектра составов минералов и расплавов, наблюдаемых в изученных образцах алливалитов вулкана Ксудач, необходима степень кристаллизации родоначального расплава от 25 до 41%.

Масс-балансовые соотношения между рассчитанными и средними составами минералов алливалитов, измеренными в образцах, приведены в табл. 6. Максимальное смещение масс-баланса наблюдается при следующих пропорциях: родоначальный расплав L1 = 78% эволюционировавшего расплава L2 + 22% кумулята. Кумулят при этом имеет состав (в %): ОI 5,0 + РI 38,9 + СРх 50,4 + Мг 5,7.

Один из важных моментов при исследовании алливалитов — установление генетической связи алливалитов и вулканической серии пород, кото-

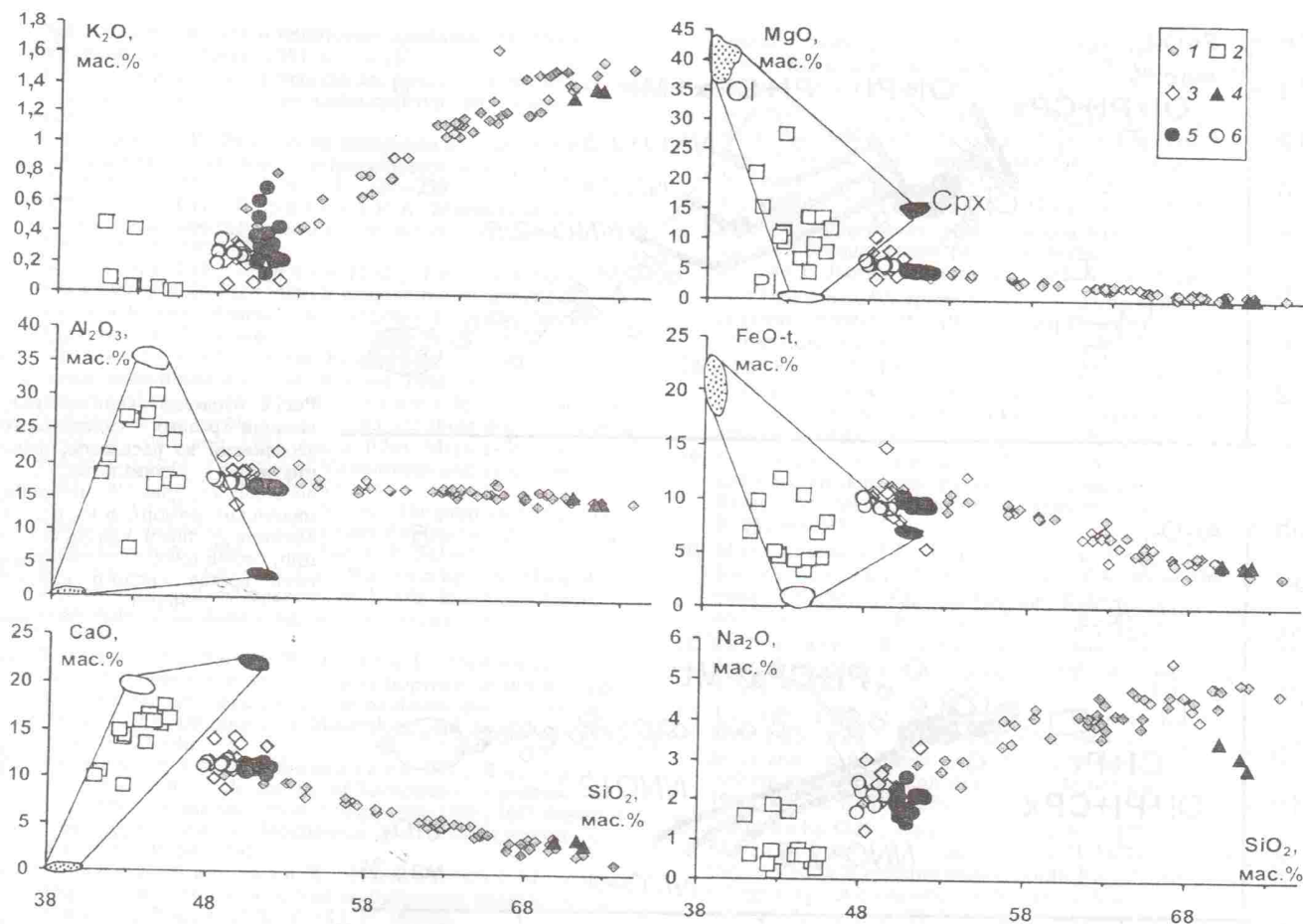


Рис. 5. Содержание главных петрогенных оксидов (мас. %) в породах, расплавах и минералах алливалитов вулкана Ксудач: 1 — валовые составы вулканитов [11, 19, 21, 24, 29, 32, 33]; 2 — валовые составы алливалитов [2, 15, 16]; 3 — раскристаллизованная интерстициальная масса; 4 — остаточное стекло; 5 — расплавы из Ks-1; 6 — расплавы из Ks-3; поля — составы оливина, плагиоклаза и клинопироксена из алливалитов вулкана Ксудач

рая может быть доказана возможностью кристаллизации вулканитов из родоначального расплава алливалитов.

Моделирование фракционной кристаллизации ассоциации оливин + плагиоклаз + клинопироксен + титаномагнетит из максимально эволюционировавшего расплава алливалитов проводилась с помощью программы Petrolog III при условиях: фугитивность кислорода на уровне $NNO+1,5-2,5$, $P 10^2$ МПа, содержание воды 3%. При таких параметрах достигается степень кристаллизация 48% с образованием остаточного расплава андезитового состава (SiO_2 62,6 мас. %). Последовательность кристаллизации минералов: плагиоклаз → плагиоклаз + магнетит → плагиоклаз + магнетит + клинопироксен → плагиоклаз + клинопироксен. Лучшее соответствие вулканитам достигается при условии высокой фугитивности кислорода ($NNO+2$), однако полного совпадения составов не наблюдается (рис.6, а, б), что можно объяснить разными причинами. Так, более высокое содержание Al_2O_3 в вулканитах контролируется значительным количеством вкрапленников плагиоклаза.

Кроме того, не удается достичь кристаллизации кислых разновидностей пород, которые присутствуют в

отложениях вулкана Ксудач в значительных количествах. Скорее всего извержения дацитов и риодацитов связаны с существованием крупного очага с магмой более кислого состава (рис. 6, а, б). Присутствие продуктов андезитового состава может быть объяснено смешением основного и кислого расплавов в различных пропорциях.

Таблица 6

Масс-балансовые соотношения между расплавами и минералами алливалитов

Фаза	L1 (Ks-3)	L2 (Ks-1)	OI	Pl	CPx	Mt
%	100	78,3	1,1	8,4	10,9	1,2
SiO_2	50,42	52,47	39,04	43,62	48,89	
TiO_2	0,84	0,90	0,03	0,02	1,00	2,03
Al_2O_3	17,26	17,09	0,01	35,65	4,77	34,53
$FeO-t$	9,53	9,97	18,57	0,60	10,19	39,89
MnO	0,27	0,41	0,35	0,05	0,24	0,22
MgO	5,84	4,86	41,60	0,06	13,35	12,11
CaO	13,01	11,57	0,21	19,37	21,29	
Na_2O	2,10	2,07		0,62	0,25	
K_2O	0,30	0,31		0,01	0,01	

Примечание. L1 — родоначальный расплав (обр. Ks-3); L2 — эволюционировавший расплав (обр. Ks-1).

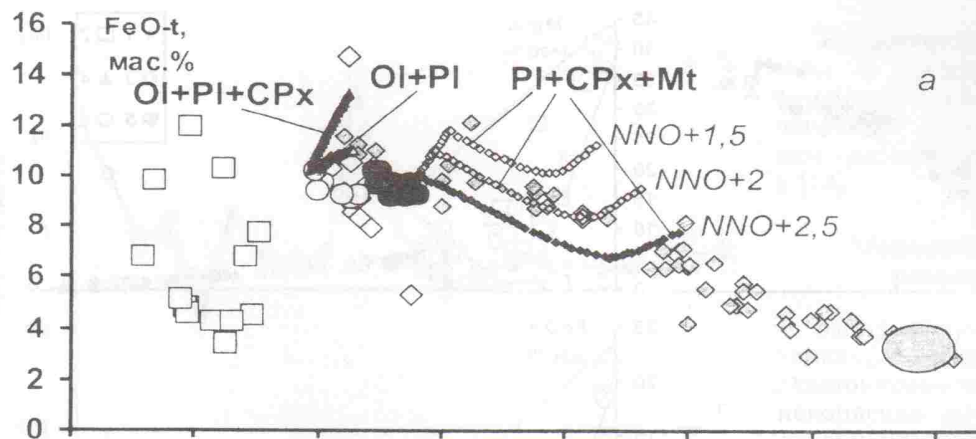
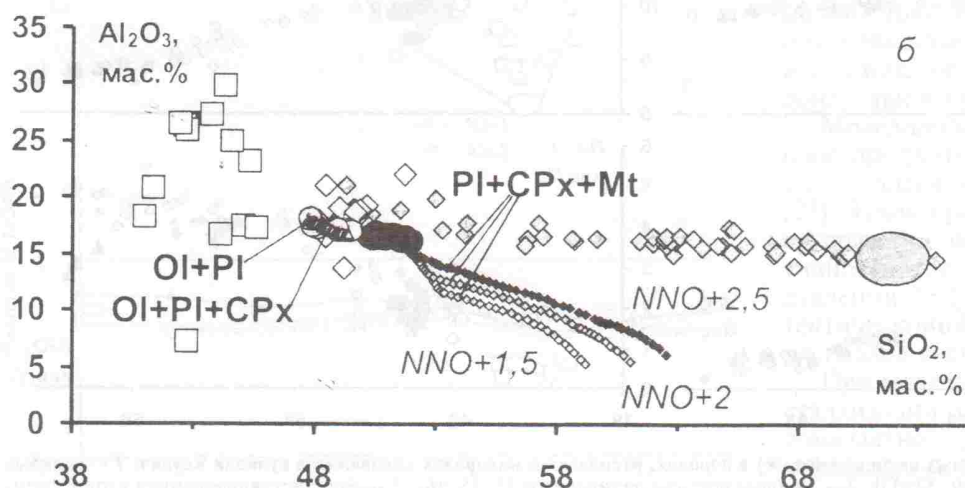


Рис. 6. Моделирование кристаллизации разных минеральных ассоциаций из расплавов, формирующих алливалиты: усл. обознач. см. рис. 5; цепочки маленьких ромбиков и треугольников — шаги кристаллизации, серый овал — гипотетический состав кислого компонента



Выводы

1. Установлены параметры кристаллизации породообразующих минералов оливин-плаггиоклазовых кумулятов: высокое содержание воды (2,9–3,3 мас. %), фугитивность кислорода на уровне $NNO+1,5$, давление $1-2 \cdot 10^2$ МПа. Температура котектической кристаллизации оливина и плаггиоклаза $965-1035^\circ\text{C}$.

2. Наблюдаемые вариации состава породообразующих минералов и расплавов возможны при кристаллизации от 25 до 41% родоначального расплава.

3. Серия пород вулкана Ксудач не могла образоваться только при кристаллизации родоначального расплава, зафиксированного в алливалитах, а требует существования обширного очага с магмой кислого состава.

ЛИТЕРАТУРА

- Брайцева О.А., Мелекесцев И.В., Пономарева В.В., Базанова Л.И., Сулержицкий Л.Д. Сильные и катастрофические эксплозивные извержения на Камчатке за последние 10 тысяч лет // Геодинамика и вулканизм Курило-Камчатской островодужной системы. (ИВГиГ ДВО РАН). Петропавловск-Камчатский, 2001. 428 с.
- Волынец О.Н., Шека С.А., Дубик Ю.М. Оливин-анортитовые включения вулканов Камчатки и Курил // Включения в вулканических породах Курило-Камчатской островной дуги / Под ред. Б.Г. Лутца и др. М.: Наука, 1978. С. 124–166.
- Гриб Е.Н. Петрология продуктов извержения 2–3 января 1996 года в кальдере Академии наук // Вулканология и сейсмология. 1997. № 5. С. 71–96.
- Действующие вулканы Камчатки / Под ред. С.А. Федотова, Ю.П. Масуренкова. Т. 2. М.: Наука, 1991. 415 с.
- Дриль С.И. Происхождение и эволюция островодужных андезитов на примере вулканов Заварицкого, Эбеко (Курильские острова) и Шивелуч (Камчатка). Дисс. канд. геол.-мин. наук. М., 1988. 322 с.
- Ермаков В.А., Волынец О.Н., Колосков А.В. Включения в вулканических горных породах // Петрология и геохимия островных дуг и окраинных морей. М.: Наука, 1987. С. 293–312.
- Кутыев Ф.Ш., Шарапов В.Н. Петрогенезис под вулканами. М.: Недра, 1979. 197 с.
- Масуренков Ю.П. Проблема включений и возможности вулканической петрологии // Бюллетень вулканологической станции. 1974. № 50. С. 10–18.
- Плечов П.Ю., Данюшевский Л.В. PETROLOG III. Моделирование равновесной и фракционной кристаллизации // Материалы ЕСЭМПП-2006. Вестник Отделения наук о Земле РАН. 2006. № 1 (24).
- Плечов П.Ю., Шишкина Т.А., Ермаков В.А., Портнягин М.В. Условия формирования алливалитов (оливин-анортитовых кристаллических включений) в вулканических породах Курило-Камчатской дуги // Петрология. 2008. №3. С. 248–276.
- Пополитов Е.И., Волынец О.Н. Геохимические характеристики четвертичного вулканизма Курило-Камчат-

- ской островной дуги и некоторые проблемы петрогенезиса. Новосибирск: Наука, 1981. С. 1—183.
12. Селянгин О.Б. Петрогенезис базальт-дацитової серии в связи с эволюцией вулканоструктур. М.: Наука, 1987. 148 с.
 13. Соболев А.В. Включения расплавов в минералах как источник принципиальной петрологической информации // Петрология. 1996. Т. 4. № 3. С. 228—239.
 14. Фролова Т.И., Бурикова И.А. Магматические формации современных геотектонических обстановок. М.: Изд-во МГУ, 1997. 320 с.
 15. Фролова Т.И., Плечов П.Ю., Тихомиров П.Л., Чураков С.В. Расплавные включения в минералах алливалитов Курило-Камчатской островной дуги // Геохимия. 2000. № 4. С. 336—346.
 16. Шеймович В.С. Вулкан Ксудач в августе 1963 г. // Бюллетень вулканологической станции. 1966. № 41. С. 25—28.
 17. Arita-Miyasaka M., Nakagawa M. Origin of anorthite and olivine megacrysts in island-arc tholeiites; petrological study of 1940 and 1962 ejecta from Miyake-jima volcano, Izu-Mariana arc // Journal of Volcanology and Geothermal Research. 2002. V. 117. P. 263—283.
 18. Arculus R.J., Wills K.J.A. The petrology of plutonic blocks and inclusions from the Lesser Antilles Island Arc // Journal of Petrology. 1980. V. 21. Part 4. P. 743—799.
 19. Bailey J.C., Frolova T.I., Burikova I.A. Mineralogy, geochemistry and petrogenesis of Kurile island-arc basalts // Contributions to Mineralogy and Petrology. 1989. V. 102. P. 265—280.
 20. Ballhaus C., Berry R., Green D. High pressure experimental calibration of the olivine-orthopyroxene-spinel oxygen geobarometer: implications for the oxidation state of the upper mantle // Contributions to Mineralogy and Petrology. 1991. V. 107. P. 27—40.
 21. Bindeman I.N., Ponomareva V.V., Bailey J.C., Valley J.W. Volcanic arc of Kamchatka: A province with high-D18O magma sources and large-scale 18O/16O depletion of the upper crust // Geochemica and Cosmochemica Acta. 2004. V. 68. P. 841—865.
 22. Blundy J., Cashman K., Humphreys M. Magma heating by decompression-driven crystallization beneath andesite volcanoes // Nature. 2006. V. 443. P. 76—80.
 23. Braitseva O.A., Melekestsev I.V., Ponomareva V.V., Kirianov V.Yu., Litasova S.N., Sulerzhitskiy L.D. Tephra of the largest pre-historic eruptions of Kamchatkan volcanoes in Holocene // Quaternary Int. 1992. V. 13 (14). P. 177—180.
 24. Braitseva O.A., Melekestsev I.V., Ponomareva V.V., Kirianov V.Yu. The caldera-forming eruption of Ksudach volcano about cal. A.D. 240: The greatest explosive event of our era in Kamchatka, Russia // Journal of Volcanology and Geothermal Research. 1996. V. 70. P. 49—65.
 25. Danyshevsky L.V. The effect of small amounts of H₂O on crystallisation of mid-ocean ridge and backarc basin magmas // Journal of Volcanology and Geothermal Research. 2001. V. 110. P. 265—280.
 26. Ford C.E., Russel D.G., Graven J.A. Olivine-liquid equilibria; temperature, pressure and composition dependence of the crystal/liquid cation partition coefficients for Mg, Fe²⁺, Ca and Mn // Journal of Petrology. 1983. V. 24. P. 256—265.
 27. Hofmann A.W. Chemical differentiation of the Earth: the relationship between mantle, continental crust, and oceanic crust // Earth and Planetary Science Letter. 1988. V. 90. P. 297—314.
 28. Ishikawa T. Petrological significance of large anorthite crystals included in some pyroxene andesites and basalts in Japan // Journal of Faculty Science, Hokkaido University. Ser. 4. Geology and Mineralogy. 1951. V. 7. № 4. P. 339—354.
 29. Ishikawa T., Tera F., Nakagawa T. Boron isotope and trace element systematics of the three volcanic zones in the Kamchatka Arc // Geochim. Cosmochim. Acta. 2001. V. 65. P. 4523—4537.
 30. Melekestsev I.V., Braitseva O.A., Ponomareva V.V., Sulerzhitskiy L.D. Holocene Catastrophic Caldera-Forming Eruptions of Ksudach Volcano, Kamchatka // Volcanology and Seismology. 1996. V. 17. N. 4—5. P. 395—422.
 31. Selyangin O.B. Geologic structure and evolution of the calderas of Ksudach volcano // Volcanology and Seismology. 1990. V. 9/5. P. 690—713.
 32. Turner S.P., McDermott F., Hawkesworth C.J., Kepezhinskas P.K. A U-series study of lavas from Kamchatka and the Aleutians: constraints on source composition and melting processes // Contributions to Mineralogy and Petrology. 1998. V. 133. P. 217—234.
 33. Volynets O.N., Ponomareva V.V., Braitseva O.A., Melekestsev I.V. and Chen, Ch.H. Holocene eruptive history of Ksudach volcanic massif, South Kamchatka: evolution of a large magmatic chamber // Journal of Volcanology and Geothermal Research. 1999. V. 91. P. 23—42.

Московский государственный университет
Department of Volcanology and Petrology,
GEOMAR Research Center
Т.А. Шишкина — аспирант
Рецензент — В.С. Попов

УДК 553.8

М.Б. КОПЧИКОВ, О.С. СЕРГЕЕВА, В.К. ГАРАНИН, В.Л. ЛАРЧЕНКО

ПЕРВЫЕ ДАННЫЕ ОБ АЛМАЗАХ ИЗ НОВЫХ КИМБЕРЛИТОВЫХ ТРУБОК АРХАНГЕЛЬСКОЙ АЛМАЗОНОСНОЙ ПРОВИНЦИИ

Описана морфология кристаллов алмаза новых кимберлитовых тел Зимнебережного района Архангельской алмазонасной провинции (ААП). Дана краткая информация о геологическом и петрологическом строении новых тел. По содержанию и разнообразию кристаллов алмаза особо выделяется трубка Галина (478). Установлено, что алмазы из новых тел сходны, и по их содержанию исследованные трубки относятся к слабо- или убогалмазонасным.

Открытие новых кимберлитовых тел в ААП, безусловно, подтверждает мнение о ее перспективности. В результате активизации поисковых работ АК «АЛРОСА» в 2005—2007 гг. в Зимнебережном алмазонасном районе (ЗАР) ААП получены новые важные геологические материалы, свидетельствующие о возможностях выявления значительного

числа новых кимберлитовых тел, в частности, и промышленно-алмазонасных, на флангах месторождений им. М.В. Ломоносова и им. В. Гриба.

Новые кимберлитовые тела (трубки Рождественская, Галина, 495а и 746б, силл 495в) обнаружены компанией «АЛРОСА-Поморье» на территории Верхнекепинской и Келинской лицензионных