

УДК 549+551.21

ПОСТЭРУПТИВНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ТРЕТЬЕГО КОНУСА СЕВЕРНОГО ПРОРЫВА БОЛЬШОГО ТРЕЩИННОГО ТОЛБАЧИНСКОГО ИЗВЕРЖЕНИЯ (КАМЧАТКА, 1975–1976 гг.)

© 2022 г. Л. П. Вергасова^а, *, С. К. Филатов^б, **, С. В. Москалева^а,
М. А. Назарова^а, А. П. Шаблинский^{б, с}

^аИнститут вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, бульвар Пийна, 9, Петропавловск-Камчатский, 683006 Россия

^бИнститут наук о Земле, Санкт-Петербургский государственный университет,
Университетская наб., 7/9, Санкт-Петербург, 199034 Россия

^сИнститут химии силикатов РАН, набережная Макарова, 2, Санкт-Петербург, 199034 Россия

*e-mail: vlp@kscnet.ru

**e-mail: filatov.stanislav@gmail.com

Поступила в редакцию 21.09.2021 г.

После доработки 17.11.2021 г.

Принята к публикации 02.02.2022 г.

Приводится характеристика ранней постэруптивной деятельности Третьего конуса, одного из Новых Толбачинских вулканов, образовавшихся в ходе Северного прорыва Большого трещинного Толбачинского извержения, произошедшего на Камчатке в 1975–1976 гг. Охарактеризованы температурный режим, эксгаляционное минералообразование и изменение пород на фумарольных площадках северного и южного кратеров Третьего конуса.

Ключевые слова: вулкан Толбачик, извержение, постэруптивная деятельность, спекшаяся пирокластика, фумарольная площадка, шлаковый конус, вулканогенно-эксгаляционное минералообразование

DOI: 10.31857/S0203030622030051

ВВЕДЕНИЕ

Прорыв магнезиальных базальтов, в ходе которого в 1975 г. сформировался Третий конус Северного прорыва (СП) Большого трещинного Толбачинского извержения (БТТИ), был предсказан с точностью до нескольких часов в ходе “оперативного анализа сейсмических событий в районе БТТИ” [Большое трещинное ..., 1984, с. 386; Действующие вулканы ..., 1991, с. 236]. Извержение Третьего конуса происходило одновременно с извержением Второго и четвертого конусов, а также лавовых котлов с 17 по 25 августа. Питающими каналами, скорее всего, были неглубокие ответвления от питающего канала Второго конуса, образование которых началось на глубине не менее чем 5–10 км [Большое трещинное ..., 1984, с. 46]. Примерно за 8 суток работы третьего прорыва образовался конус высотой 108 м и объемом 0.022 км³ [Действующие вулканы ..., 1991, с. 228]. Конус имеет двойной кратер – северный и южный кратеры (рис. 1). Южный кратер, ближайший ко Второму конусу, менее глубокий. Основание конуса вытянуто с юга на север, крутизна склонов менее 30° [Магуськин и др., 1978].

Значительная часть пород, слагающих Третий конус, представлена спекшейся пирокластикой, что явилось следствием пароксизмальной эксплозивной деятельности третьего прорыва магмы, в ходе которого эксплозии характеризовались непрерывным фонтанированием лавы, а также интенсивностью, какой не было за все время извержения [Большое трещинное ..., 1984, с. 40]. Согласно работе [Влодавец, Флоренский, 1966] шлаки, будучи извергнутыми почти в еще жидком состоянии, спекаются. При этом наблюдается прочное бесцементное соединение обломков, контуры которых хорошо заметны под биноклем. Визуально выходы спекшейся пирокластики ржавого и иссиня-красно-бурого цвета в пределах северного кратера прослеживаются на расстоянии до 150 м на внутренних западном, северо-западном и восточном склонах вблизи кромки кратера в виде чередующихся слоев с разной размерностью глыб, максимальный размер которых 2 × 1 × 1.5 м³ (рис. 2). В южном кратере выход спекшейся пирокластики площадью 20 × 10 м² фиксируется на внутреннем западном склоне вблизи дна кратера.



Рис. 1. Северный прорыв Большого трещинного Толбачинского извержения, Третий конус, 1981 г. Светлые участки – фумарольные площадки (вид со Второго конуса). Фото И. Берманса.

Присутствие спекшейся пироклаستيку способствовало значительному по площади и длительному по времени сохранению высоких температур при относительно небольшом объеме изверженного материала, заключенного в постройке конуса. Как следствие изначально и длительно сохраняющейся высокой температуры получил широкое развитие окислительный процесс (переход в породах Fe^{2+} в Fe^{3+}), благодаря которому большая часть изверженного материала окрашена в красный цвет не только на внутренних, но и на внешних склонах почти до самого подножия (красный конус). Обращает на себя внимание слабо выраженный характер зон деформаций на поверхности конуса, что может свидетельствовать о значительных объемах погребенной спекшейся пироклаستيку.

Наиболее активные фумарольные площадки Третьего конуса были приурочены к области проекций трещин прорыва [Действующие вулканы ..., 1991, с. 221], а также к тем участкам конуса, в недрах которого, судя по выходам в бортах, под слоем рыхлой пироклаستيку погребена спекшаяся пирокластик.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Характеристика ранней постэруптивной деятельности представлена по материалам длительных (с 1977 по 2003 гг.) целенаправленных наблюдений

за явлениями, сопровождающими остывание шлакового конуса, в частности, минералообразующими процессами. Проводились также измерения температуры, преимущественно, на площадках, в пределах которых наблюдались минералообразующие процессы, а также периодически по контуру обоих кратеров, поскольку фумарольная деятельность, как правило, приурочена к гребням кратеров, повторяя их очертания. Измерение осуществлялось лабораторным термометром ТЛ-500 и хромель-алюмелевой термопарой, в основном, на глубинах 15–20 см, а также в пределах встречаемости минералов эксгальций (обычно не более 0.3–0.5 м от поверхности).

При исследовании процессов эксгальционного минералообразования и изменения пород был использован комплекс аналитических методов в сочетании с микроскопическим изучением вещества. Осуществлялись традиционные химические исследования, включающие анализ водных вытяжек, количественный химический анализ измененных пород (ИВиС ДВО РАН), а также метод сканирующей электронной микроскопии (SEM, TESCAN “Vega3” с энергетическим спектрометром X-MAX50, Oxford), позволяющий проанализировать химический состав отдельных минералов, получить микрофотографии и изучить морфологию минералов эксгальций. Параллельно с химическими исследованиями при наличии доста-

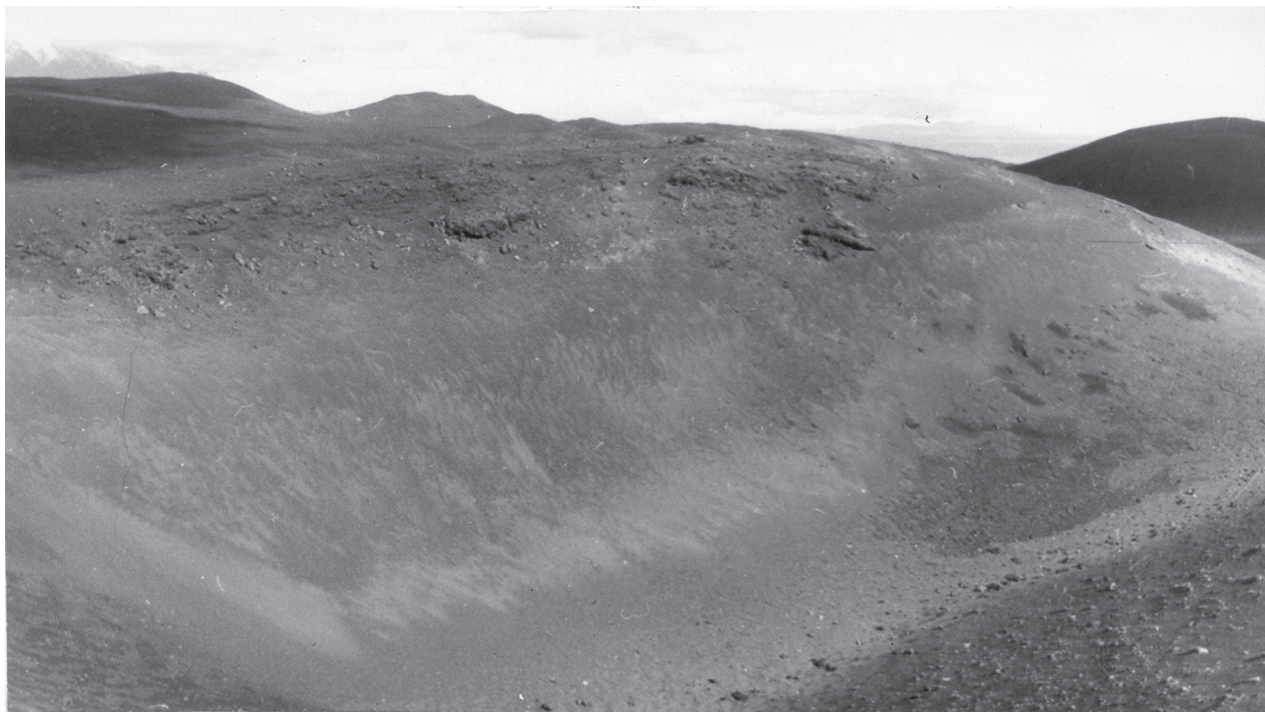


Рис. 2. Северный прорыв Большого трещинного Толбачинского извержения, Третий конус, 1981 г. Северный кратер, восточная кромка. Вблизи кромки кратера видны выходы спекшейся пирокластики. Фото Л.П. Вергасовой.

точного количества вещества проводился рентгенофазовый анализ (ДРОН-2 и XRD-7000, Shimadzu). При изучении новых природных соединений (лесьюкит, хлорартинит) был использован комплекс методов: сканирующая электронная микроскопия, рентгеноспектральный анализ, порошковая рентгенография, а оптические константы и плотность определялись принятыми в минералогии методами [Филатов и др., 2021].

ПОСТЭРУПТИВНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ТРЕТЬЕГО КОНУСА в 1977 г.

Первое посещение конуса относится к лету 1977 г. Выходы газов в виде отдельных хорошо обособленных отверстий не наблюдались. На внутренних склонах обоих кратеров, от кромки и почти до самого дна, отмечались высокие температуры, достигавшие на незначительных глубинах 15–20 см максимальных показателей, составлявших более 500°C, вблизи выходов спекшейся пирокластики. В северном кратере на юго-восточной кромке по мелким трещинкам при 400°C в очень незначительных количествах образовывались корочки галита грязно-белого цвета (табл. 1, Тол-113/77). В южном кратере на западном внутреннем склоне недалеко от дна спекшейся пирокластики были обнаружены в шлаке белые налеты и пленки, в основном, хлоридов Mg, Ca, Na, K (см. табл. 1, Тол-114₃/77) и бархатно-черные са-

жистого облика примазки тенорита при температуре $\geq 100^\circ\text{C}$. На западной кромке южного кратера у выхода газа под глыбой при температуре менее 100°C осаждались в виде маломощных примазок белые, а на 2–3 см дальше от глыбы – бурые гигроскопичные минеральные фазы. Последние придавали мелким обломкам лав и шлаков вокруг газового выхода маслянистый облик (“мокрые” шлаки). Минеральные фазы по данным химических анализов представляют собой хлориды Ca, Mg, Fe, Al (см. табл. 1, Тол-112_a/77). В нерастворимом остатке были обнаружены частицы новообразованного гематита с необычной округлой формой агрегатов микрокристаллов (рис. 3), образование которого мы связываем с геохимической деятельностью микроорганизмов в современном вулканогенно-эксгаляционном минералообразовании [Кутузова и др., 2004; Вергасова и др., 2004; Филатов и др., 2004].

По местоположению и интенсивности изменения в южном кратере выделялась одиночная глыба ($1 \times 1.5 \times 2 \text{ м}^3$) охристо-желтого цвета с поверхности, расположенная обособленно в сторону переемычки между северным и южным кратерами на уровне выхода спекшейся пирокластики на внутреннем северо-западном склоне. Охристо-желтый цвет глыбе придавали мягкие, гигроскопичные тонкодисперсные минеральные фазы на ее поверхности. Сама глыба под отложениями новообразованных минеральных фаз незначи-

Таблица 1. Состав эксгалационных отложений, в том числе гигроскопичных, по данным водных вытяжек (мг/л)

Компоненты	1977 г.				1979 г.		
	Тол-112а	Тол-114	Тол-114 ₃	Тол-113	Тенардит-79	Тол-123	Тол-132
pH	4.55	4.42	6.85	5.89	6.2	7.65	7.74
NH ₄ ⁺	–	3.15	0.1	<0.1	0.2	<0.1	<0.1
Na ⁺	82.0	4.85	15.0	115.3	52.9	10.2	17.8
K ⁺	9.0	1.74	11.0	1.5	22.7	13.75	14.05
Ca ²⁺	52.1	1.95	26.1	2.4	10.4	26.04	11.12
Mg ²⁺	38.9	3.72	42.6	0.4	1.2	22.07	16.92
Fe _{общ.}	20.5	6.35	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
Al ³⁺	15.2	7.9	<0.3	<0.3	<0.3	0.0	0.0
Cl ⁻	429.6	63.83	195.0	180.8	5.3	131.2	100.18
SO ₄ ²⁻	21.1	0.48	0.0	3.8	133.5	0.95	0.48
HCO ₃ ⁻	16.5	1.22	9.8	3.7	39.1	20.75	15.26
F ⁻	–	0.24	–	1.7	0.2	1.05	1.5
н.о., мг	1167.6	235.3	176.6	32.7	0.0	261.3	68.3
Навеска, мг	3710.8	748.2	747.8	335.2	240.12	1340.6	347.55
Σ К, мг-экв/л	12.40	2.05	5.74	5.21	3.51	3.90	3.07
Σ А, мг-экв/л	12.81	1.81	5.66	5.33	3.58	4.11	3.16
T, °С	<100	<100	>100	400	≥300	200–300	200–300

Примечание. Тол-112_а – пленки бурые с маслянистым блеском, н.о. – пепловые частицы обесцвечены, много железосодержащей фазы в виде микроглобулей (западная кромка южного кратера); Тол-114 – влажные охристо-желтые налеты, н.о. – тонкодисперсная фаза охристо-желтого цвета (южный склон перемычки между северным и южным кратером); Тол-114₃ – белые налеты и пленки, н.о. – тонкодисперсная фаза кремовато-белого цвета (внутренний западный склон южного кратера); Тол-113 – корочки маломощные грязно-белого цвета (восточная кромка северного кратера); Тенардит-79 – скрытокристаллические отложения белого цвета (восточная кромка северного кратера); Тол-123 и Тол-132 – скрытокристаллические и зернистые массы белого цвета, н.о. – окисленный пепел с тонкодисперсной фазой, возможно фторидами белого цвета (внутренний западный склон южного кратера). Н.о. – нерастворимый остаток, прочерк – компонент не определялся. Аналитик С.В. Сергеева (АЦ ИВиС ДВО РАН).

тельной мощности была интенсивного “мясо-красного” цвета. Замеренная температура вблизи глыбы, в шлаке на глубине 10–15 см, была более 300°С, температура верхней части глыбы, овеваемой воздухом, – 40–50°С. По данным комплекса минералого-кристаллохимических исследований основной новообразованной фазой отложений охристо-желтого цвета оказалось новое природное водное соединение гидроксил-хлорида алю-

миния [Серафимова и др., 1979], названное лесюкитом (рис. 4, спектр 43, ат. %: О 56.01, Al 23.28, Cl 16.01, Fe 3.03, прочие 1.67, сумма 100) [Вергасова и др., 1997]. В 2019 г. было установлено, что лесюкит и кадваладерит являются одним минеральным видом [Peterson et al., 2019]. Из-за приоритета по дате открытия за минералом было оставлено название кадваладерит, а название лесюкит дискредитировано [Peterson et al., 2019]. Спутниками

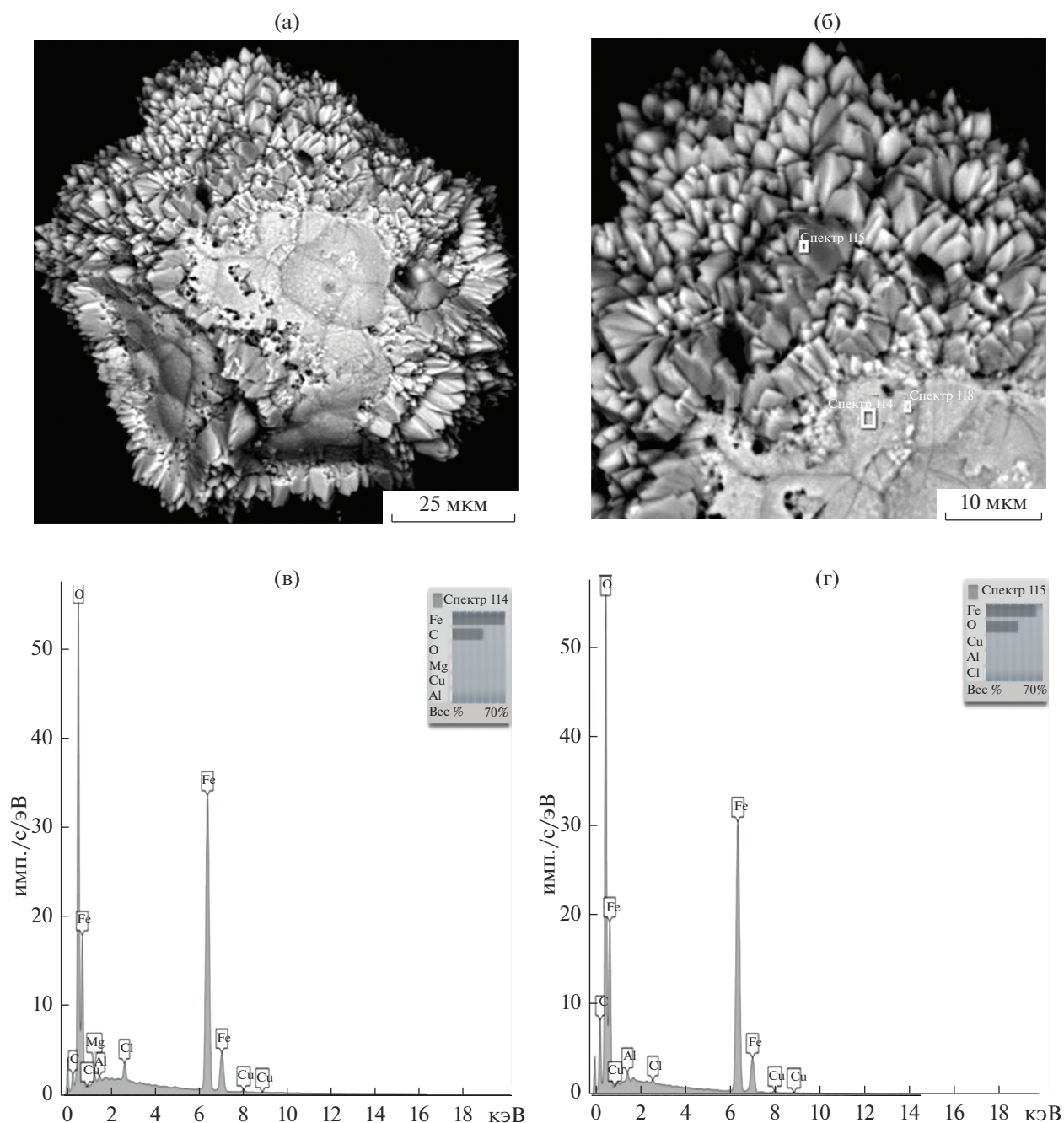


Рис. 3. Электронно-микроскопическое изображение агрегата кристаллов новообразованного гематита. Вид сверху (а, б) и EDX – спектры гематита (в, г).

кадваладерита (лесюкита), по данным визуальных наблюдений и химических исследований, являются предположительно простые хлориды Ca, Mg, Fe, Na, K, Al (см. табл. 1 и табл. 2, Тол-114/77 и Тол-114₁₋₂), большинство из которых неустойчивы на воздухе и обводняются, что придает отложениям влажный облик и мягкую консистенцию. Среди охристо-желтой дисперсной массы можно было встретить твердые кусочки – остатки породы “мясо-красного” цвета, аналогичные

спекшейся пирокластике. Косвенные данные указывают на возможное участие в образовании минерала кадваладерита (лесюкита) биогенного фактора вследствие протекания поствулканических процессов в границах биосферы [Кутузова и др., 2004; Вергасова и др., 2004; Филатов и др., 2004]. По результатам наблюдений, выполненных в 1977 г., на раннем этапе постэруптивной активности Третьего конуса состав эксгаляционных минеральных фаз был существенно хлоридный. Ре-

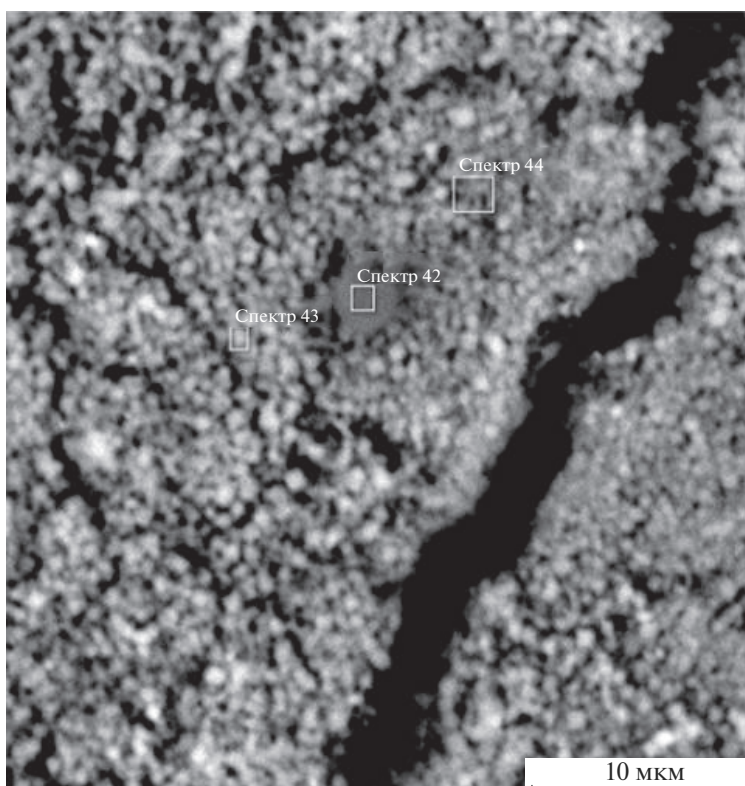


Рис. 4. Электронно-микроскопическое изображение агрегата кубических кристаллов кадваладерита (лесюкита).

жимные наблюдения за постэруптивной деятельностью Третьего конуса были продолжены. В 1979 г. в пределах Третьего конуса наблюдалась резкая интенсификация фумарольной деятельности, которая, возможно, явилась следствием сейсмической активизации ($K_s \geq 11$) региона в 1978 г. [Большое трещинное ..., 1984, с. 437].

ПОСТЭРУПТИВНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ В ЮЖНОМ КРАТЕРЕ

В 1979 г. прогретые площадки южного кратера Третьего конуса, ближайшего ко Второму конусу, отмечались в пределах его западного и восточного внутренних склонов.

Фумарольное поле западного внутреннего склона южного кратера протягивается от кромки кратера почти до самого дна, включая выход горячей спекшейся пирокластикой ржавого красноватого цвета с температурой 360°C на поверхности. Нижний край выхода образовывал уступ высотой 0,5–1 м. Вблизи уступа рыхлая пирокластика слабо спекалась и цементировалась минералами эксгаляций. Минералообразование в рыхлой пирокластике визуально имело место до глубины 20 см. На обломках спекшейся и рыхлой пирокластики на глубине 20 см в интервале температур

$320\text{--}360^\circ\text{C}$ осаждался кристаллический налет тенорита с галитом. Изредка встречались налеты бледного травяно-зеленого цвета, предположительно, из-за примеси минералов меди. На глубине 15 см шлак и мелкие обломки лав цементировались местами довольно плотным белоснежным цементом из галита с примесью сильвина (табл. 3, Тол-127/79). Ближе к поверхности рыхлая пирокластика была так изменена и насыщена эксгаляционными минеральными фазами (см. табл. 1, Тол-123/79 и Тол-132/79), что производила впечатление трухи светло-кремового, светло-бурого цвета. Новообразованные минеральные фазы имели белый цвет, различную степень гигроскопичности, неясную структуру (смесь скрытокристаллических разновидностей, плохо образованных кристаллов, зернистых масс). Менее гигроскопичные минеральные фазы содержали больше хлоридов щелочных металлов – галита, галита с сильвином, более гигроскопичные – хлоридов Ca и Mg (минеральные виды не выделены). Из примесей среди гигроскопичных минералов встречалась тончайшая сыпь белого цвета игольчатого облика (предположительно сульфатов Ca). Мелкие обломки лав на незначительной глубине были как бы присыпаны рыхлым тонкодисперсным белым налетом фторидов (уточнено по данным

электронной микроскопии). За пределами выхода спекшейся пирокластикой вверх по внутреннему западному склону до самой кромки кратера мелкая пирокластика слабо цементировалась в виде мало мощной двухцветной корки, целостность которой нарушалась под тяжестью человеческого тела. На середине склона на поверхности корки температура была 40°C, непосредственно под коркой – 160°C, а на глубине 20 см в шлаке – 300°C. Корка состояла из ральстонита (табл. 4, Тол-82/79) с незначительной примесью еще одного фторсодержащего минерала, который, по данным электронной микроскопии, предположительно диагностирован как леонардсенит $MgAlF_5 \cdot 2H_2O$. На кромке кратера фумарольное поле западного внутреннего склона распространялось на 50–60 м по направлению на север до самой высокой отметки Третьего конуса, что на перемычке между северным и южным кратерами, а также продолжалось вниз по внешнему склону на 10–20 м. С кромки кратера было видно, что фумарольное поле приурочено к радиальной просадке глубиной 0.5 м и шириной 10 м, секущей под острым углом в направлении на юг кромку кратера и далее прослеживающейся вниз по склону до самого подножия. Со стороны северного борта просадки поверхность фумарольного поля в пределах кромки кратера сложена окисленной мелкоглыбовой лавой, сцементированной фторидами в виде плотной (выдерживала тяжесть человеческого тела) двухцветной корки мощностью 3–5 см. Снаружи корка имела желтовато-белый цвет (до 2 см), снизу – красно-бурый. Под коркой красно-бурые мелкие обломки лав были с тончайшими налетами канареечно-желтого цвета. Температура на поверхности корки составляла 50–70°C, а непосредственно под коркой – 140–160°C. На дне радиальной просадки корки не было. Температура здесь составляла 380°C. По данным рентгенофазового анализа помимо ральстонита в корке присутствуют еще два фтористых минерала – флюорит и селлаит (см. табл. 4, Тол-84/79).

По состоянию Третьего конуса на 1981 г. (см. рис. 1) фумарольные площадки хорошо маркируются в виде более светлых зон, представленных на месте белесоватыми шлаками среди красно-бурых окисленных шлаков. И в 1981, и в 1983 гг. большая часть замеров поверхностных температур в южном кратере была в диапазоне более 100°C. В пределах западной кромки кратера, вблизи перемычки между южным и северным кратерами, корка, состоящая из фторидов и измененной пирокластикой, к 1983 г. сохранилась местами (см. табл. 2, Тол-10/83). Шлаки под коркой сухие рыхлые, без видимой минерализации. Под

Таблица 2. Химический состав измененных пород Третьего конуса СП БТТИ (мас. %)

Оксиды	1977 г.	1983 г.			1985 г.
	Тол-114 ₁₋₂	Тол-3	Тол-10	Тол-13	Тол-15 ₃
SiO ₂	5.33	28.40	0.00	30.84	30.76
TiO ₂	0.05	0.78	0.25	0.45	0.87
Al ₂ O ₃	25.54	39.47	26.85	15.39	19.90
Fe ₂ O ₃	5.15	11.08	1.25	3.90	16.96
FeO	0.43	0.57	0.57	1.00	2.01
MnO	0.12	0.28	0.1	0.08	0.23
MgO	3.14	7.33	16.69	7.83	8.98
CaO	3.44	7.06	4.41	9.63	5.83
Na ₂ O	2.08	1.45	1.40	1.55	1.03
K ₂ O	0.98	0.70	0.36	0.70	0.69
F	–	0.00	35.25	21.28	0.42
SO ₃	1.36	0.00	0.00	0.00	–
CO ₂	–	–	–	–	1.54
H ₂ O [–]	13.16	1.80	3.12	2.86	3.00
H ₂ O ⁺	22.89	0.56	24.71	13.08	7.36
P ₂ O ₅	0.17	0.32	0.11	0.36	0.31
Cl	21.27	–	–	–	–
O=F ₂	–	0.00	–14.84	–8.96	–0.17
O=Cl ₂	–4.80	–	–	–	–
Сумма	100.31	99.80	100.23	99.99	99.72
T, °C	<100	135	151	163	≤100

Примечание. Тол-114₁₋₂ – фаза тонкодисперсная охристо-желтого цвета (внутренний южный склон перемычки между северным и южным кратерами); Тол-3 – измененная пирокластикой светло-кремового цвета с включениями кристаллов гематита (юго-восточная кромка северного кратера); Тол-10 – нацело измененная внешняя зона образца лавы желтовато-кремового цвета (западная кромка южного кратера); Тол-13 – измененная пирокластикой, сцементированная новообразованными минеральными фазами в виде корки желтовато-кремового цвета (восточный внутренний склон вблизи кромки южного кратера); Тол-15₃ – пирокластикой, измененная до бесструктурной дисперсной фазы желтовато-грязного цвета, обогащенная кристаллами гематита (западный внутренний склон вблизи кромки северного кратера). Прочерк – компонент не определялся. Аналитик Г.Ф. Князева (АЦ ИВиС ДВО РАН).

Таблица 3. Химические анализы некоторых проб эгалационных минеральных фаз Третьего конуса СП БТТИ по данным водных вытяжек (мас. %)

Компоненты	1979 г.		1983 г.			1985 г.		1988 г.
	Тол-80	Тол-127	Тол-5 ₁	Тол-6	Тол-11	Тол-5	Тол-187	Тол-69
Na	37.64	33.77	25.44	18.14	38.13	39.56	26.80	25.71
K	0.24	6.20	14.96	28.26	0.06	0.96	7.82	8.66
Cl	60.13	58.17	27.04	53.32	61.44	56.77	0.69	5.96
SO ₄	0.00	0.02	33.19	0.00	0.00	2.26	64.10	56.99
H ₂ O _{общ.}	0.20	–	0.00	0.00	0.15	–	–	–
Прочие	–	1.79	0.09	0.08	0.05	0.60	1.09	0.52
Сумма	98.21	99.95	100.72	99.80	99.83	100.15	100.50	97.84
T, °C	160–280	300–200	220	200	62	140–160	290	232

Примечание. Тол-80/79 – белый цемент (северный кратер, северная кромка кратера); Тол-127/79 – белый плотный цемент (южный кратер, западный внутренний склон вблизи дна); Тол-5₁/83 – тонкозернистый цемент желтовато-белого цвета (северный кратер, восточный внутренний склон); Тол-6/83 – белый пушистый налет (там же, где и Тол-5₁/83); Тол-11/83 – полупрозрачный белый плотный цемент (южный кратер, южная кромка кратера); Тол-5/85 – желтовато-белый цемент (северный кратер, восточный внутренний склон); Тол-187/85 – белые отложения по трещинам в массиве спекшейся пирокластики (там же, где и Тол-5₁/83); Тол-69/88 – желтовато-белый цемент (там же, где и Тол-5₁/83 и Тол-187/85). T, °C – температура поверхности отбора. Прочерк – компонент не определялся. Аналитики: С.В. Сергеева, В.В. Дунин-Барковская (АЦ ИВиС ДВО РАН).

коркой на глубине 0.5 м температура была 340°C. В пределах просадки на глубине 1–2 см от поверхности на мелкоглыбовой лаве встречался тончайший белый рыхлый тонкодисперсный налет фторидов до глубины не более 20 см при температуре 205°C. Там же наблюдались слабые кристаллические налеты сульфатов кальция (ангидрита, бассанита). В районе перемычки, вблизи кромки кратера на северо-западном внутреннем склоне, на шлаках были установлены маломощные тонкодисперсные налеты белого цвета, которые, по данным химических исследований, наряду с хлоридами и сульфатами содержали примесь карбонатов. На внутреннем западном склоне южного кратера ральстонитовая корка в 1983 г. отсутствовала. Вблизи дна, на поверхности массива спекшейся пирокластики в 1983 г. при температуре 300°C были отобраны плотные корочки сульфатов натрия, калия и магния грязно-белого цвета с примесью тонкодисперсного тенорита. Под микроскопом в проходящем свете корочки имели вид ориентированного срастания прозрачных пластинок псевдогексагонального облика. Количественный химический анализ корочек (Тол-109/83, мас. %): Na₂O 16.10, K₂O 5.81, CaO 0.84,

MgO 14.11, SO₃ 53.30, H₂O⁻ 4.28, H₂O⁺ 4.53, сумма 98.97 (аналитик В.В. Дунин-Барковская, ИВиС ДВО РАН). Расчетная формула (Na_{1.56}K_{0.36})_{Σ1.92}(Mg_{1.05}Ca_{0.04})_{Σ1.09}(SO₄)₂·0.76H₂O. Минерал не идентифицирован в силу предполагаемой неустойчивости соединения и незначительного количества вещества. О неустойчивости исследуемого высокотемпературного маловодного сульфата Na, K и Mg свидетельствуют данные порошковой рентгенографии (см. табл. 4, Тол-109/83). Большинство наиболее интенсивных пиков межплоскостных расстояний соответствует минералу левеиту Na₁₂Mg₇(SO₄)₁₃·15H₂O, содержащему воду в значительном количестве, что противоречит высокотемпературным условиям отбора (300°C). На дифрактограмме наблюдается уширение оснований пиков, что может прямо свидетельствовать о некоторой разупорядоченности природной фазы, возможно произошедшей в связи с гидратацией вещества пробы Тол-109/83 при взаимодействии с атмосферной водой в ходе лабораторных исследований.

С 1985 г. по трещинкам в массиве спекшейся пирокластики западного внутреннего склона южного кратера в значительных количествах были

Таблица 4. Рентгенофазовый анализ инкрустированных минеральных фаз фумарол Третьего конуса Северного прорыва БТТИ

№ п/п	Тол-82/79		Тол-84/79		Тенардит/79		Тол-2/83		Тол-5 ₁ /83		Тол-109/83		Тол-1 ₁ /85		Тол-24/85		Тол-5/87		Werg/99		
	I/I ₁	d, Å	I/I ₁	d, Å	I/I ₁	d, Å	I/I ₁	d, Å	I/I ₁	d, Å	I/I ₁	d, Å	I/I ₁	d, Å	I/I ₁	d, Å	I/I ₁	d, Å	I/I ₁	d, Å	I/I ₁
1	97	5.74	12	3.27	8	5.74	2	3.62	5	4.90	26	10.4	30	5.73	26	6.02	2	7.6	5	6.02	
2	8	4.94	95	3.15	8	5.50	100	3.155	14	4.64	9	9.5	15	3.68	9	5.74	6	7.15	5	3.88	
3	12	3.52	18	2.23	72	4.66	95	1.931	17	4.06	12	6.9	3	3.61	7	4.78	3	5.27	100	3.50	
4	18	3.14	3	2.07	10	4.50	30	1.647	2	3.834	9	5.84	100	3.15	9	4.67	2	4.90	10	3.00	
5	91	3.00	100	1.93	4	4.28	10	1.365	10	3.645	9	5.44	10	3.03	9	4.17	32	4.66	30	2.851	
6	100	2.87	9	1.71	10	4.08	8	1.253	20	3.255	52	4.55	12	2.982	10.5	3.93	6	4.57	5	2.475	
7	7	2.48	42	1.64	5	3.93			7	3.173	29	4.29	15	2.883	7.5	3.86	4	4.42	30	2.329	
8	39	2.28	3	1.63	22	3.85			20	3.142	72	4.04	33	2.692	100	3.50	4	4.27	20	2.209	
9	5	2.22	16	1.37	7	3.65			10	3.068	9	3.92	28	2.512	5.5	3.36	21	4.15	5	2.090	
10	3	2.17			7	3.56			30	2.929	32	3.76	8	2.228	4	3.26	28	4.06	20	1.8699	
11	31	2.03			15	3.43			35	2.826	26	3.70	4	2.217	6	3.12	6	3.844	15	1.7507	
12	66	1.91			7	3.33			24	2.783	14	3.64	4	2.067	26.5	3.01	29	3.705	15	1.6490	
13	5	1.87			53	3.18			12	2.643	15	3.45	90	1.932	16	2.849	4	3.584	7	1.4899	
14	95	1.76			43	3.07			7	2.450	46	3.43	10	1.837	22	2.805	2	3.366			
15	13	1.67			32	2.933			10	2.432	29	3.25	7	1.799	6	2.714	24	3.178			
16	8	1.64			55	2.836			13	2.325	98	≈3.20	10	1.647	7	2.679	37	3.073			
17	9	1.57			100	2.788			7	2.219	58	3.13	7	1.485	4	2.625	15	2.967			
18	13	1.52			22	2.748			3	2.182	100	2.98	4	1.453	10	2.327	16	2.923			
19	32	1.50			55	2.649			24	2.037	23	2.94			5	2.278	100	≈2.824			
20	5	1.44			5	2.540			100	1.995	14	2.87			8	2.214	20	≈2.766			
21	15	1.39			8	2.512			7	1.863	6	2.76			7.5	2.183	6	2.735			
22					4	2.455			3	1.829	20	2.73			6	2.136	32	2.647			
23					6	2.438			3	1.699	46	2.70			5	2.006	4	2.502			
24					38	2.330			2	1.678	26	2.64			6	1.973	5	2.445			
25					5	2.292			7	1.653	9	2.58			5	1.949	4	2.431			
26					6	2.214			23	1.629	12	2.56			5	1.918	13	2.388			
27					5	2.176			2	1.552	43	2.52			10	1.870	19	2.330			
28					3	2.120			3	1.489	14	2.45			10	1.845	8	2.201			
29					19	2.038			3	1.465	14	2.37			6	1.758	4	2.125			
30					7	1.964			14	1.414	17	2.29			5	1.688	6	2.068			
31					8	1.941					14	2.27			6	1.646	12	2.031			
32					4	1.896					9	2.25			5.5	1.523	2	1.935			
33					6	1.892					17	2.21			5	1.314	18	1.866			
34					40	1.865					11	2.16					3	1.823			
35					8	1.843					17	2.13					5	1.799			
36					6	1.800					9	2.06					3	1.783			
37					14	1.681					29	2.02					2	1.735			
38					11	1.661					12	1.998					7	1.681			
39					3	1.605					9	1.952					5	1.662			
40					9	1.554					9	1.937					23	1.630			
41					5	1.497					11	1.919					3	1.585			
42					6	1.420					17	1.833					8	1.552			
43					3	1.388					5	1.778					3	1.498			
44					5	1.323					3	1.745					2	1.428			
45					13	1.295					8	1.695					13	1.412			
46					7	1.278					8	1.625					4	1.323			
47											6	1.606					8	1.299			
48																	9	1.297			
49																	3	1.278			
50																	2	1.273			
51																	19	1.262			
52																	2	1.215			

Примечание. Тол-82/79 – ральстонит [Справочник, 1963]; Тол-84/79 – флюорит, селлаит (JCPDS, 35-0816, 6-290); Тенардит/79 – тенардит (JCPDS, 5-631), афтиталит [Okada, Oosaka, 1980], бубновалит [Gorelova et al., 2016]; Тол-2/83 – флюорит; Тол-5₁/83 – галит (JCPDS, 5-628), афтиталит, тенардит; Тол-109/83 – лёвезит (JCPDS, 29-1241); Тол-1₁/85 – флюорит с примесью ральстонита и гематита (JCPDS, 33-664); Тол-24/85 – ангидрит (JCPDS, 6-226), бассанит (JCPDS, 33-310); Тол-5/87 – тенардит, пикромерит (JCPDS, 21-1400), галит. Зашкаленные (≈) пики не удалось отснять по техническим причинам. Температура отбора 38°C; Werg/99 – ангидрит, бассанит. Аналитики: М.Г. Горская (СПбУ), Л.П. Вергасова, М.А. Назарова, М.Е. Зеленский (ИВиС ДВО РАН).

обнаружены белые мучнистые массы сульфатов кальция (бассанита и др.). В 1988 г. наблюдались существенные деформации на юго-западном внешнем склоне. Как следствие этих деформаций мы предполагаем проявление значительных температур до 300°C в 1992 г. на внешнем западном склоне южного кратера до 50 м вниз от кромки в районе просадки.

Фумарольное поле внутреннего восточного склона южного кратера приурочено к области проекции трещины прорыва [Действующие вулканы ..., 1991, с. 221] в пределах восточной кромки южного кратера. Представляет собой выположенный участок вблизи кромки кратера, в пределах которого фиксировались высокие температуры на протяжении длительного периода времени. Поверхность фумарольного поля сложена шлаколавовым среднеглыбовым материалом. Мелкая пирокластика имела белесовато-сиреневый цвет. В 1979 г. на небольшой площади $10 \times 5 \text{ м}^2$, ориентированной вдоль оси прорыва (то есть, в меридиональном направлении), в пределах вышеуказанного участка мелкая пирокластика была сцементирована ральстонитом в виде двухцветной корки (в 1977 г. корки не было) мощностью до 2 см, довольно крепкой вблизи глыб.

До 1983 г. температуры на поверхности фторидной (см. табл. 2, Тол-13/83) корки в пределах восточной кромки южного кратера были до 100°C, под коркой – до 200°C. На внешнем склоне со стороны Второго конуса, вблизи предполагаемого пересечения южной кромки кратера с питающей трещиной прорыва субмеридионального простирания [Действующие вулканы ..., 1991, с. 221] по трещинкам, в которых температуры достигали немногим более 200°C, был встречен галит (см. табл. 3, Тол-11/83). Здесь новообразованный галит в виде плотного скрытокристаллического цемента белого цвета скреплял почти неизменный шлак.

К 1985 г. площадь участка фумарольного поля, покрытого коркой, состоящей из измененной пирокластики и ральстонита, значительно увеличилась и достигала в длину 30 м. По внутреннему склону вниз заметно увеличилась также площадь распространения белесой зоны с температурами на глубине 5–10 см от поверхности до 270–340°C. В 1983 г. температура здесь достигала лишь 165°C. На обломках мелкой пирокластики, начиная с глубины 1–2 см от поверхности склона, были широко распространены белые налеты ангидрита с бассанитом, что подтверждено данными рентгенофазового анализа. Налеты под бинокулярной лупой просматривались в виде удлиненных мо-

лочно-белых микрокристаллов, собранных в розетки.

В 1987 г. было зафиксировано смещение зоны проявления высоких температур по внутреннему южному склону, начиная с 20–30 м от южной кромки кратера в северо-западном направлении. На самой кромке температуры соответствовали температуре окружающей среды.

Отмечаемые в пределах южного кратера повышения близповерхностных температур в 1985, 1987, 1992 гг. указывают на образование новых зон проницаемости для подтока высокотемпературных газов. Тому свидетельство зафиксированная в 1988 г. существенная деформация на внешнем юго-западном склоне южного кратера. Формирование деформации может быть обусловлено влиянием значительного объема бомб и лавовых шаров к юго-западу от конуса в связи с их остыванием.

ПОСТЭРУПТИВНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ В СЕВЕРНОМ КРАТЕРЕ

В пределах северного кратера наиболее активные фумарольные площадки были приурочены к выходам спекшейся пирокластики, визуальнo фиксируемых на внутренних западном и восточном склонах. Наблюдаемая в 1979 г. интенсификация фумарольной деятельности Третьего конуса в пределах северного кратера характеризовалась образованием в значительном количестве соединений натрия и калия. Например, хлориды Na и K вблизи выходов спекшейся пирокластики ржавого и иссиня-красно-бурого цвета встречались в виде плотного цемента белого цвета, иногда с желтоватым или зеленоватым оттенком. Например, в пределах северо-западного внутреннего склона при температуре 460°C в 1979 г. были отобраны тонкозернистые биминеральные отложения галита с сильвином с соотношением атомных количеств $K : Na = 1.89$ (Тол-75). На восточном внутреннем склоне вблизи кромки кратера при температуре 400°C это соотношение в биминеральных отложениях галита с сильвином составляло 1.04 (Тол-78) и 1.76 (Тол-79) [Филатов, Вергасова, 2002]. На северо-восточной, северной кромке кратера в мелкошлаковом субстрате и даже на внешнем склоне, например, северо-восточном, повсеместно встречался галит (см. табл. 3, Тол-80) в виде белых налетов по неглубоким трещинам, либо в виде белоснежного цемента, местами очень плотного. Обращает на себя внимание образование хлоридами Na и K зон цементации мощностью до 3–4 см на глубине 2–5 см от поверхности. На северо-восточном внешнем склоне зона цементации, состоящая из галита и

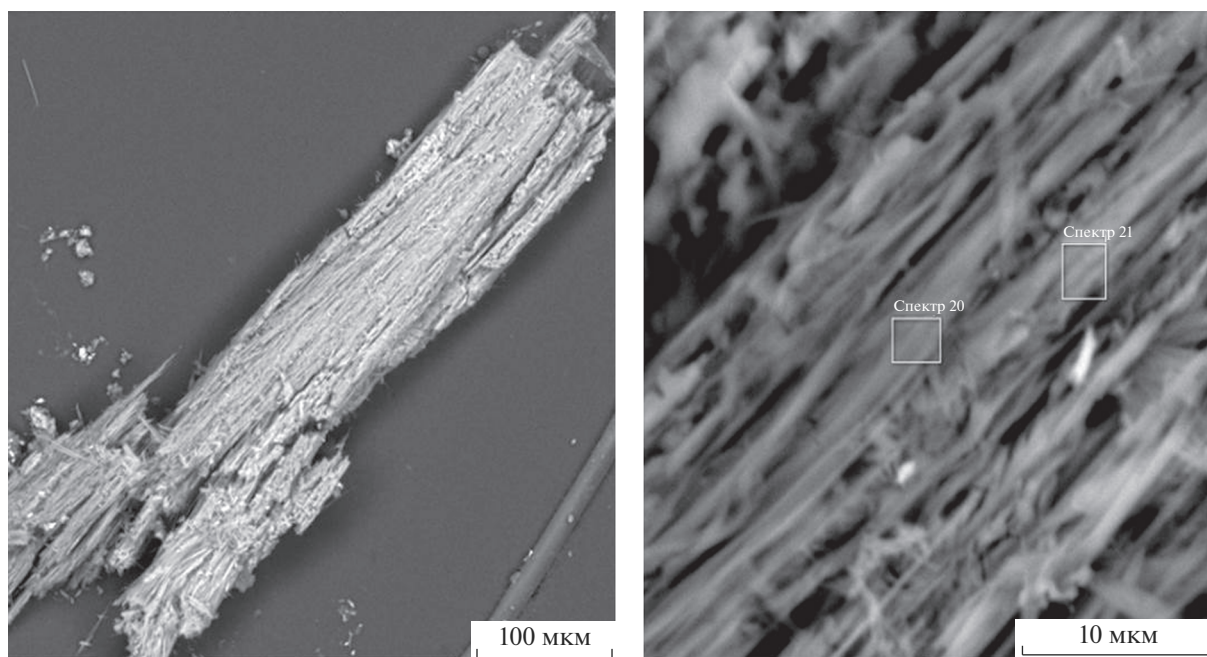


Рис. 5. Электронно-микроскопическое изображение хлорартинита.

пирокластики красно-бурого цвета, плащом опускалась вниз по склону, выклиниваясь на расстоянии 30 м от кромки кратера на глубине 25 см. Температура на поверхности кромки кратера была 85°C, непосредственно под зоной цементации 225°C, на некоторой глубине (не более 15–20 см) в рыхлой пирокластике 265°C; в 10 м от кромки на восточном внешнем склоне конуса температура под зоной цементации была 140°C, мощность цементации составляла 2 см. Аналогичные плотные прослойки мощностью 3–4 см из галита с сильвинном отмечались на внутренних северном и северо-западном склонах северного кратера вблизи глыб спекшейся пирокластики. В последующие годы такого обилия образования хлоридов Na и K не наблюдалось, хотя температуры оставались высокими. Если обратиться к результатам [Большое трещинное ..., 1984, с. 492] геодезических и наклонных работ, проведенных в 1978 и 1979 гг. после извержения вблизи конусов СП, которые свидетельствовали о локальном смещении поверхности вблизи Третьего конуса над возможно возникшим в ходе извержения “неглубоким магматическим очагом”, то формирование значительных скоплений хлоридов Na и K может быть следствием высвобождения летучих элементов при остывании расплава вследствие образования трещин за счет напряжений, образующихся при сокращении объема очага. Помимо хлоридов Na и K на прогретых площадках вблизи глыб спекшейся пирокластики на восточном внутреннем

склоне, недалеко от кромки кратера, при температуре 350°C в шлаке, после обильного дождя, было обнаружено значительное скопление сульфатов Na, K, Ca в виде белого тонкодисперсного плотного и не очень цемента. Изучение сульфатов проводилось комплексным методом. Был использован анализ водной вытяжки из пробы (см. табл. 1, тенардит-79), рентгенофазовый анализ и метод электронной микроскопии, что позволило выявить в пробе помимо преобладающего тенардита (см. табл. 4, тенардит-79), афтиталит и, возможно, бубноваит.

Также в 1979 г. Е.К. Серафимовой в северном кратере, вблизи пересечения северной кромки кратера и питающей трещины Третьего конуса субмеридионального простираения [Действующие вулканы ..., 1991, с. 221], были отобраны образцы карбонатов. Изучение этих проб позволило установить и описать первую находку нового природного водного соединения гидроксил-хлорид-карбоната магния, названного по близости составов с минералом артинитом – хлорартинитом [Вергасова и др., 1998]. На рис. 5 представлено электронно-микроскопическое изображение агрегата длиннопризматических индивидов минерала хлорартинита (спектр 20, ат. %: С 20.67, O 58.45, Mg 16.92, Cl 3.76, прочие 0.20, сумма 100).

В 1981 г. близповерхностные максимальные температуры в пределах северного кратера не превышали 300°C. Фумарольное поле на восточ-

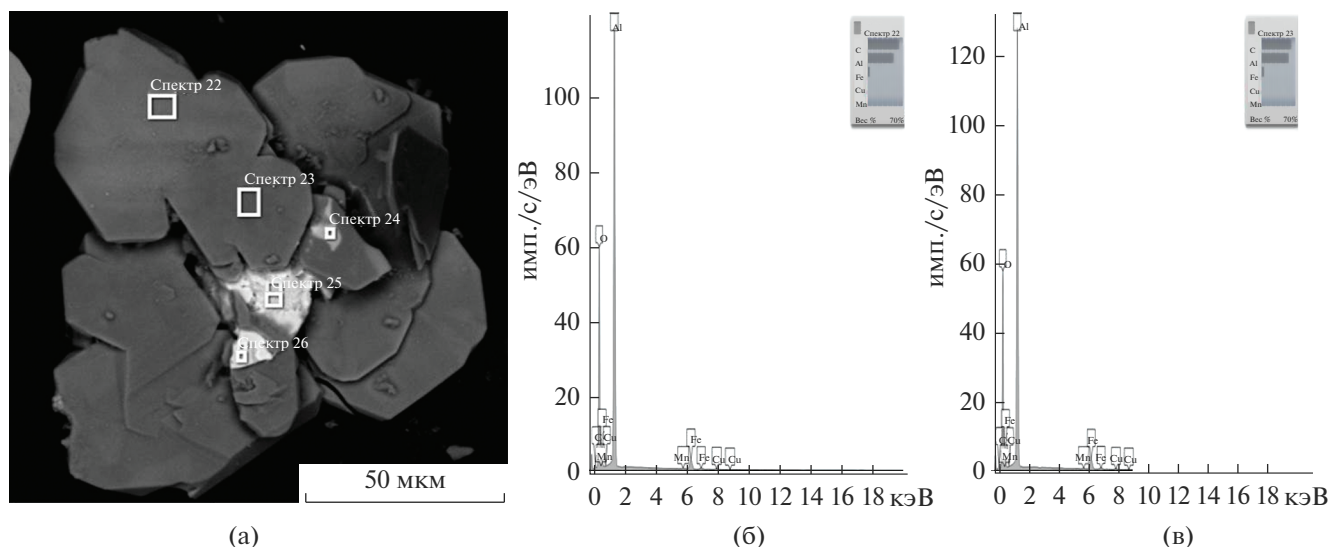


Рис. 6. Электронно-микроскопическое изображение (а) и EDX-спектры (б, в) новообразованного корунда.

Таблица 5. Минералы фумарол Третьего конуса СП БТТИ

№	Название	Формула
<i>Оксиды и гидроксиды</i>		
1	Тенорит	CuO
2	Гематит	Fe ₂ O ₃
3	Корунд	Al ₂ O ₃
4*		Fe ₂ O ₃ ·nH ₂ O
<i>Фториды</i>		
5	Ральстонит	Na _x (Mg _x Al _{2-x})(F,OH) ₆ ·yH ₂ O
6	Селлаит	MgF ₂
7	Флюорит	CaF ₂
8	Леонардсенит	MgAlF ₅ ·2H ₂ O
<i>Хлориды и оксохлориды</i>		
9	Галит	NaCl
10	Сильвин	KCl
11*		CaCl ₂ ·nH ₂ O
12*		MgCl ₂ ·nH ₂ O
13*		FeCl ₃ ·nH ₂ O
14	Кадваладерит (Лесюкит)	Al ₅ (H ₂ O) ₃ (OH) ₁₂ · n(Cl, H ₂ O)
<i>Сульфаты и оксосульфаты</i>		
15	Тенардит	Na ₂ SO ₄
16	Ангидрит	CaSO ₄
17	Афтиталит	(K,Na) ₃ Na(SO ₄) ₂
18	Бубноваит	K ₂ Na ₈ Ca(SO ₄) ₆
19	Бассанит	CaSO ₄ ·0.5H ₂ O
20	Гипс	CaSO ₄ ·2H ₂ O
21	Пикромерит	K ₂ Mg(SO ₄) ₂ ·6H ₂ O
22	Лёвеит	Na ₁₂ Mg ₇ (SO ₄) ₁₃ ·15H ₂ O
<i>Карбонаты</i>		
23	Хлорартинит	Mg₂(CO₃)(OH)Cl·3H₂O

Примечание. Жирным шрифтом выделены новые минералы; * – отдельные минеральные виды выявить не удалось.

ном внутреннем склоне северного кратера (место подъема со стороны перемычки между северным и южным кратерами) вблизи кромки кратера, визуально проявляющееся в виде белесой зоны (см. рис. 2), увеличилось по площади. Местами пятнами вблизи “глухих” трещинок происходило термическое спекание мелкой пирокластики с образованием корочек незначительной мощности – до 1–2 см. Снаружи корочка была светло-кремовой, предположительно из-за выноса темноцветных минералов, а с нижней стороны – красно-бурой в связи с окислительными процессами. Корочка легко разрушалась молотком. Под коркой вскрывалась горячая рыхлая пирокластика красно-бурого цвета. По трещинкам осаждался скрытокристаллический галит грязно-белого цвета. В 1983 г. температуры здесь снизились до 135°C на глубине 10–15 см, а размеры белесой зоны составляли 40 × 20 м². Поверхностная корка в месте развития белесой зоны сохранилась местами. Здесь же по трещинкам встречалось много белоснежных, местами плотных, отложений флюорита мучнистого облика (см. табл. 4, Тол-2/83). Измененная пирокластика имела белесовато-сиренево-бурый цвет. Много было измененной пирокластики (см. табл. 2, Тол-3/83) без следов начальной структуры грязно-кремового цвета с массой включений гематита, в том числе, в виде хорошо ограненных таблитчатых микрокристаллов, возможно, образовавшихся в ходе перекристаллизации. Благодаря бликованию среди измененной пирокластики еще были обнаружены мельчайшие бесцветные прозрачные слюдоподобные частицы, которые, при изучении их под

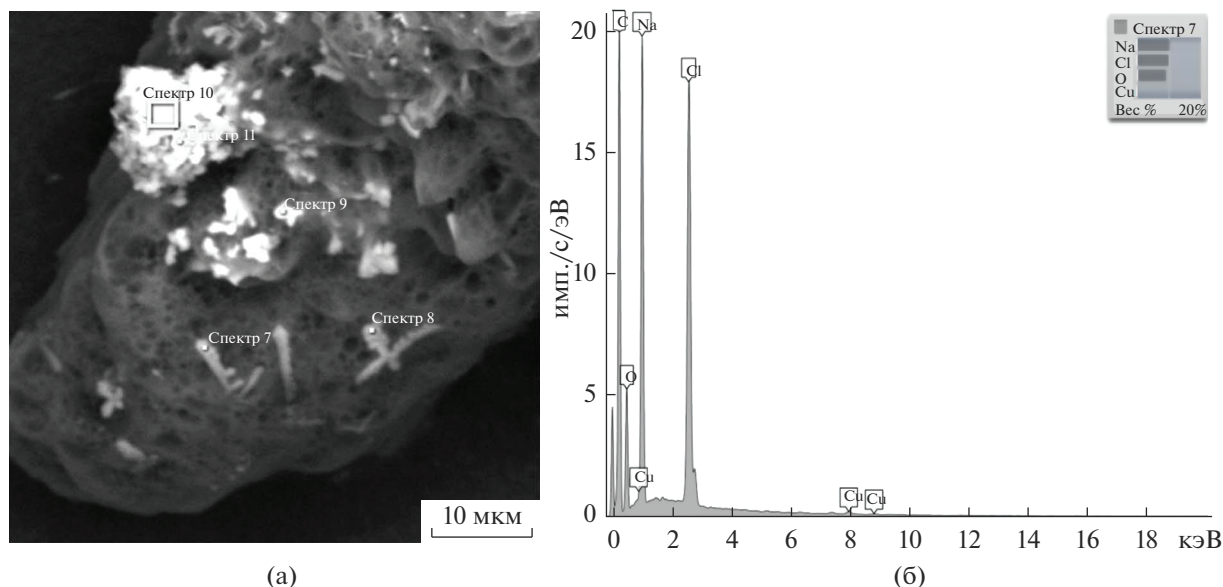


Рис. 7. Углеродсодержащая фаза с включениями скелетных кристаллов галита (а) и ее EDX-спектр (б).

электронным микроскопом, большей частью имели хорошую огранку в виде псевдогексагональных табличек (рис. 6). Слюдаподобные частицы состояли только из алюминия и кислорода, что позволило диагностировать новообразованную минеральную фазу как корунд, что также подтвердилось определением параметров элементарной ячейки по монокристалльным рентгенодифракционным данным.

Находки галита с сильвином, галита, а также сульфатов тенардита и пикромерита фиксировались на внутренних восточном (см. табл. 3) и западном склонах северного кратера, но в намного меньших масштабах, вплоть до 1992 г. На окисленных обломках лав при температуре более 100°C часто встречались белые тончайшие налеты сульфатов кальция (ангидрита, бассанита), количество и распространение которых растет, начиная с 1985 г.

В табл. 2 представлен анализ измененных пород (Тол-15₃, отбор 1985 г.) северного кратера с остывшего участка фумарольного поля западного внутреннего склона, обогащенного кристаллическим гематитом, возможно, образовавшимся в ходе перекристаллизации аналогично пробе Тол-3/1983.

К ХАРАКТЕРИСТИКЕ ВУЛКАНОГЕННО-ЭКСТАЛЯЦИОННОГО МИНЕРАЛООБРАЗОВАНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ ПОРОД НА ТРЕТЬЕМ КОНУСЕ

Вторичные минеральные фазы на поверхности фумарольных площадок Третьего конуса имели различный облик: наиболее типичны были пленки, присыпки, выпоты на открытой поверхности массивов спекшейся пирокластики, маломощные скопления в нишах под глыбами или по мелким трещинкам, а также в виде тонкозернистого цемента, скрепляющего мелкошлаковый пирокластический субстрат вблизи массивов спекшейся пирокластики. Исключения составили значительные по площади и по мощности отложения хлоридов Na и K и фторидов (в основном, ральстонит). Образование значительных скоплений хлоридов наблюдалось в северном кратере в 1979 г. Оно было кратковременным и предположительно вследствие высвобождения летучих элементов при остывании гипотетического очага, повлекшего локальное "проседание земной поверхности вокруг северных конусов" [Большое трещинное ..., 1984, с. 494]. Скопления фторидов в виде покровов мощностью от 2 до 5 см встречались на фумарольных площадках южного кратера. Ввиду плохой растворимости отложения фторидов сохранялись длительное время. Различия по цвету для большей части новообразованных минеральных фаз были незначительны: от белого, грязно-белого до кремовато-белого цвета.

Результаты минералого-геохимического изучения вулканогенно-эксталяционного минерало-

образования свидетельствуют о существенно хлоридном составе новообразованных (вторичных) минеральных фаз Третьего конуса в 1977 г. Значительные изменения в количественном отношении и в составе отмечены в 1979 г., когда наряду с хлоридами широкое распространение получают фториды, особенно в пределах южного кратера. В это время состав минералов вулканических эксгалиций становится преимущественно галоидным (хлориды и фториды) с примесью сульфатов и карбонатов. К 1987 г. доминирующее положение в обоих кратерах начинают приобретать сульфаты Са (ангидрит, бассанит).

При наиболее высоких температурах порядка 300–500°C были установлены хлориды и сульфаты Na и K – галит, сильвин, тенардит, афтиталит, бубновалит, а также, предположительно, левеит; от 100 до 200°C – ральстонит, селлаит, флюорит, ангидрит, бассанит; при менее 100°C – пикромерит, кадваладерит (лесюкит), хлорартинит и др.

В табл. 5 представлен список минералов вулкано-гено-эксгалиционного происхождения с fumarольных площадок Третьего конуса СП БТТИ. Из минералов меди, характерных для Второго конуса, в незначительных количествах встречался только тенорит. Следует отметить единичные находки конденсированных углеродных фаз абиогенного происхождения [Карпов и др., 2017] (рис. 7).

Перерождение пород под воздействием газов в пределах кратерных зон Третьего конуса установлено в незначительных масштабах. В табл. 3 представлены анализы измененных пород Третьего конуса. При наиболее высоких температурах изменению подвергался мелкошлаковый субстрат вблизи массивов спекшейся пирокластики (см. табл. 2, Тол-3/83). При этом мелкий шлак визуально обесцвечивался. Под биноклем среди обесцвеченного шлака можно было увидеть многочисленные точечные черные бесформенные микровключения гематита. Изредка встречались и хорошо окристаллизованные индивиды гематита, возможно образовавшиеся в результате перекристаллизации. Происходило также изменение пород под воздействием фторсодержащих газов. Фторметасоматическому преобразованию при температурах более 100°C подвергались как мелкая фракция, так и глыбовый материал (см. табл. 2, Тол-10/83). Отдельно стоит рассматривать измененные породы (см. табл. 2, Тол-114₁₋₂/77), в образовании которых предполагается активное участие микроорганизмов. Температура их образования менее 50°C [Вегасова, Филатов, 2016].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Пароксизмальная взрывная активность Третьего конуса предопределила специфику его постэруптивной деятельности, обусловленную формированием значительных по площади массивов высокотемпературной спекшейся пирокластики. Отсутствие выраженных зон деформаций свидетельствует о значительных объемах погребенной спекшейся пирокластики. Как следствие высоких температур, широкое развитие получил окислительный процесс (переход в изверженных породах Fe²⁺ в Fe³⁺), благодаря которому большая часть постройки конуса окрашена в красные тона не только на внутренних, но и внешних склонах почти до самого подножия. Выходы вулканических газов в виде отдельных хорошо обособленных отверстий и трещин не наблюдались. Присутствие спекшейся пирокластики существенно затрудняло свободную циркуляцию вулканических газов при остывании изверженных пород Третьего конуса, в связи с чем проявление постэруптивных процессов здесь оказалось менее значительным по сравнению с Первым и особенно Вторым конусами Северного прорыва БТТИ. Предполагается, что в составе вулканических газов, просачивающихся через толщу спекшейся пирокластики, значительную долю составляют окклюдированные и адсорбированные газы.

Получены результаты картирования температурных неоднородностей в пределах кратерных зон Третьего конуса. На период с августа 1977 г. по июль 1978 г. температура поверхности (на глубине 15–20 см) колебалась от 15 до 550°C. Максимальные значения температур фиксировались вблизи выходов массивов спекшейся пирокластики. В местах, перекрытых шлаковым чехлом, например, в южном кратере, высокие температуры фиксировались в области проекции трещины прорыва – известного тектонического нарушения [Действующие вулканы ..., 1991, с. 221], которое сопровождалось процессами минералообразования и изменения пород (см. рис. 1). По материалам периодического картирования температурных неоднородностей, максимальные близповерхностные температуры, достигающие значений до 300°C, сохранялись длительное время в пределах кратерных зон Третьего конуса [Андреев и др., 2004]. Выделена локальная высокотемпературная зона в пределах западного окончания перемычки между северным и южным кратерами (“высокая отметка”). Здесь длительное время фиксировались и сохранялись до 2003 г. температуры более 100°C, что, возможно, связано с близостью бокк “седьмого и восьмого лавовых потоков (400 и 300 м), выжатых из южного и северного краев начальной

трещины, на которой возник Третий конус” [Большое трещинное ..., 1984, с. 64]. В 1999 г. в этом месте температуры соответствовали 148–169°C, в то время как большая часть поверхности на внутренних склонах и на кромках обоих кратеров были остывшими либо имели температуры намного меньше 100°C. По данным измерений, например, в 2001 г., вблизи высокой отметки в мелкошлаковом субстрате на западном внутреннем склоне, недалеко от кромки северного кратера, температура была от 146 до 254°C, а на западном внутреннем склоне, недалеко от кромки южного кратера – 120°C; в 2003 г. – там же, от 115 до 215°C. Повышение температуры могло носить временный характер в связи с усилением сейсмической либо вулканической активизации региона.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа поддержана Министерством науки и высшего образования Российской Федерации в рамках бюджетной темы Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН (проект № 0282-2019-0008), А.П. Шаблинский поддержан Российским Научным Фондом (проект РНФ № 21-77-00069). Рентгенофазовый анализ и химические анализы проведены в аналитическом центре ИВиС ДВО РАН. Некоторые рентгендифракционные исследования проведены с использованием оборудования ресурсного центра СПбГУ “Рентгендифракционные методы исследования”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Андреев В.И., Вергасова Л.П., Горбач В.А. и др. Особенности термальных проявлений на лавовых потоках Северного прорыва Большого трещинного Толбачинского извержения // Сборник материалов региональной конференции, посвященной Дню вулканолога, 29–30 марта 2004 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2004. С. 29–37.

Большое трещинное Толбачинское извержение (БТТИ, Камчатка 1975–1976 гг.) / Под ред. С.А. Федотова. М.: Наука, 1984. 637 с.

Вергасова Л.П., Филатов С.К. Опыт изучения вулканогенно-экспалляционной минерализации // Вулканология и сейсмология. 2016. № 2. С. 3–17.

Вергасова Л.П., Филатов С.К., Кутузова Р.С., Зеленский М.Е. К проблеме бокситообразования на примере БТТИ (Камчатка) // Вулканология и сейсмология. 2004. № 3. С. 48–53.

Вергасова Л.П., Степанова Е.Л., Серафимова Е.К., Филатов С.К. Лесюкит $Al_2(OH)_5Cl \cdot 2H_2O$ – новый минерал вулканических экспалляций // Записки РМО. 1997. № 2. С. 104–110.

Вергасова Л.П., Филатов С.К., Серафимова Е.К., Сергеева С.В. Хлорартинит $Mg_2(CO_3)ClOH \cdot 3H_2O$ – новый минерал вулканических экспалляций // Записки РМО. 1998. № 2. С. 55–59.

Вергасова Л.П., Филатов С.К. Низкотемпературный (до 50°C) тип изменения пород фумарольными газами // Сборник материалов VIII Международной научной конференции “Вулканизм, биосфера и экологические проблемы”. Майкоп, 2016. С. 56–58. ISBN 978-5-91692-407-7

Влодавец В.И., Флоренский П.К. О процессе окисления шлаков и лав // Вулканизм и глубинное строение Земли. М.: Наука, 1966. С. 90–97.

Действующие вулканы Камчатки // В 2-х томах. Т. 1 / Под ред. С.А. Федотова. М.: Наука, 1991. 302 с.

Карнов Г.А., Силаев В.И., Аникин Л.П. и др. Вулканогенный углеродный парагенезис на Камчатке // История науки и техники. 2017. С. 66–77. ISSN 1813-100X

Кутузова Р.С., Вергасова Л.П., Филатов С.К. Преобразование изверженных пород при участии микробного биоценоза на Первом шлаковом конусе Большого трещинного Толбачинского извержения // Вулканология и сейсмология. 2004. № 1. С. 46–54.

Магуськин М.А., Энман В.Б., Целищев В.С. Изменение высоты, объема и формы Новых Толбачинских вулканов Северного прорыва // Геологические и геофизические данные о Большом трещинном Толбачинском извержении 1975–1976 г. М.: Наука, 1978. С. 217–225.

Серафимова Е.К., Пономарёв В.В., Игнатович Ю.А., Перетолчина Н.А. Минералогия возгонов Северного прорыва Большого трещинного Толбачинского извержения // Бюлл. вулканол. станций. М.: Наука, 1979. № 56. С. 162–178.

Справочник. Минералы. Т. II. Вып. 1. Галогениды. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 295 с.

Филатов С.К., Авдонцева Е.Ю., Изатулина А.Р. Краткий курс кристаллооптики по В.Б. Татарскому / Под ред. И.В. Пекова. СПб.: Изд-во “Скифия-принт”, 2021. 115 с.

Филатов С.К., Вергасова Л.П. Процессы распада и гомогенизации двойных солей $NaCl \cdot KCl$ из инкрустаций фумарол по данным терморентгенографии // Вулканология и сейсмология. 2002. № 5. С. 25–31.

Филатов С.К., Вергасова Л.П., Степанова Е.Л., Кутузова Р.С. Микробиологическое преобразование базальтов Толбачинского извержения 1975–1976 гг. (Камчатка) в лесюкит $Al_2(OH)_5Cl \cdot 2H_2O$ и другие фазы бокситов // Записки РМО. 2004. Ч. 133. № 3. С. 1–11.

Gorelova L.A., Vergasova L.P., Krivovichev S.V. et al. Bubernovaite, $K_2Na_8Ca(SO_4)_6$, a new mineral species from the Tolbachik volcano, Kamchatka peninsula, Russia // European J. Mineralogy. 2016. V. 28. P. 677–686.

Okada K., Ossaka J. Structures of potassium sodium sulphate and tripotassium sodium disulphate // Acta Crystallographica. 1980. V. B36. P. 919–921.

Peterson R.C., Metcalf M., Kampf A.R. et al. Cadwaladerite, $\text{Al}_2(\text{H}_2\text{O})(\text{OH})_4 \cdot n(\text{Cl}, \text{OH}^- \cdot \text{H}_2\text{O})$, from Cerros Pintados, Chile, defined as a valid mineral species and the discreditation of lesukite // The Canadian Mineralogist. 2019. № 57. P. 827–841.

Post-eruptive Activity of the Third Scoria Cone of the Northern Breakthrough of the Great Fissure Tolbachik Eruption (Kamchatka, 1975–1976)

L. P. Vergasova^{1, *}, S. K. Filatov^{2, **}, S. V. Moskaleva¹, M. A. Nazarova¹, and A. P. Shablinskii^{2, 3}

¹*Institute of Volcanology and Seismology Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, bulvar Piipa, 9, Petropavlovsk-Kamchatsky, 683006 Russia*

²*Institute Earth Sciences, Saint Petersburg State University, University emb., 7/9, Saint Petersburg, 199034 Russia*

³*Institute of Silicate Chemistry of the Russian Academy of Sciences, Makarova emb., 2, Saint Petersburg, 199034 Russia*

*e-mail: vlp@kscnet.ru

**e-mail: filatov.stanislav@gmail.com

The characteristics of the early post-eruptive activity of the Third Cone, one of the New Tolbachik volcanoes, formed during the Northern Breakthrough of the Great fissure Tolbachik Eruption, which occurred in Kamchatka in 1975–1976, is given. Changes in temperature, exhalation mineral formation and changes in rocks on the fumarole areas of the northern and southern craters of the Third Cone are characterized.

Keywords: Tolbachik volcano, eruption, post-eruptive activity, fumarole areas, scoria cone, exhalation mineral formation