

УДК 551.217.1+536.1

ОСОБЕННОСТИ ТЕРМАЛЬНЫХ ПРОЯВЛЕНИЙ НА ЛАВОВЫХ ПОТОКАХ СЕВЕРНОГО  
ПРОРЫВА БОЛЬШОГО ТРЕЩИННОГО ТОЛБАЧИНСКОГО ИЗВЕРЖЕНИЯ

**В.И. Андреев<sup>1</sup>, Л.П. Вергасова<sup>1</sup>, В.А. Горбач<sup>2</sup>, В.А. Дрознин<sup>1</sup>, И.К. Дубровская<sup>1</sup>,  
С.Л. Сеньюков<sup>3</sup>, В.М. Мирошников<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский,  
683006, e-mail:volcan@kcs.iks.ru*

<sup>2</sup> *Научно-исследовательский Геотехнологический центр ДВО РАН, 683002, e-mail:  
nigtс@kcs.iks.ru*

<sup>3</sup> *Камчатская Опытно-Методическая сейсмологическая партия, Геофизическая  
служба РАН, 683006, г. Петропавловск-Камчатский*

Эффузивная деятельность Северного прорыва (СП) Большого трещинного Толбачинского извержения (БТТИ) продолжалась чуть более 1.5 месяцев. В процессе извержения сформировалось 15 лавовых потоков, которые представляют собой продукты одноактных и

многократных излияний лавы на поверхность. В последнем случае порции потоков соответствуют импульсам эффузивной деятельности отдельных лавовых бокк. Лавовые потоки СП в итоге сконцентрировались в довольно узкой полосе по уклону местности, значительно расширяясь в пре- делах фронтальной части, что связано с выполаживанием рельефа (по данным цифровой карты рельефа местности и лавового поля СП БТТИ [14]). Лавовые потоки образовали покров площадью около  $10 \text{ км}^2$ , объемом  $0.18 \text{ км}^3$ ; средняя мощность покрова - 18 м, минимальная - 2-3 м, максимальная - 50-70 м. Наибольшей мощностью обладают фронтальные и краевые части потоков. Основная масса лавы излилась в виде 5-го и 6-го лавовых потоков в середине эффузивной деятельности СП. Расплав, излившийся из эффузивных бокк, характеризовался широким диапазоном значений вязкости от  $10^4$  до  $10^8$  пуаз при температуре  $940-1000^\circ\text{C}$  [4].

На начальной стадии становления лавовых потоков в условиях эксплозивно-эффузивного периода БТТИ на СП наблюдалась интенсивная дегазация, связанная с отделением летучих, которая в движущейся части потоков проявлялась без видимой локализации на отдельных участках. Период консолидации характеризуется тенденцией к обособлению фумарольных площадок, преимущественно на бортовых валах, в краевых, и в меньшей степени, в центральных частях лавовых потоков [6]. Поля фумарольных проявлений нередко были приурочены к широко развитым на поверхности лавовых потоков таким линейным структурам течения, как складки сжатия, валы коробления, хребты сдавливания, трещины растяжения. Среди них валы коробления, которые образуются в заключительную стадию становления, и хребты сдавливания имеют непосредственную связь с литоидной частью потока [4]. Почти повсеместно отделение летучих из лав сопровождалось изменением пеплов, частично шлаков и лав около выходов вулканических газов, а также формированием инкрустаций, преимущественно галоидного состава. В местах проявления фумарольной деятельности производились систематические измерения близповерхностных (до глубины не более 0.3 м) температур. В распределении термального режима на поверхности лавового поля наблюдалась закономерность, которая выражалась в приуроченности наиболее интенсивной фумарольной деятельности на участках лавовых потоков с наибольшей мощностью и в местах со шлаковым покрытием, что было характерно для бортовых валов лавовых потоков №№ 5 и 6. Начиная с 1979 г. в составе продуктов деятельности фумарол стали появляться карбонаты, широкое развитие которых, наряду с вышеуказанными минеральными фазами галоидного состава, отмечалось в 1983 г. [12,13]. Наблюдения за фумарольной деятельностью на лавовых потоках СП осуществлялось вплоть до 1993 г. К этому времени большая часть фумарольных площадок остыла, часто на их поверхности встречался мох. Максимальная близповерхностная температура  $125^\circ\text{C}$  была установлена в 3-3.5 км от истока с внутренней стороны южного бортового вала (лавовый поток № 5) вблизи нагромождения массивных лав.

При визуальном обследовании фронтальной части лавового поля (в 3.5-4.5 км от истока) СП видимой фумарольной деятельности (отделение газов) не установлено.

По данным тепловой аэросъемки [7] в октябре 1975 г. наиболее высокую температуру имели мощные нагромождения бортовых валов и фронтальные части потоков, дольше сохраняющие тепло. В конце августа 1982 г. тепловая аэросъемка была повторена ИВ ДВО РАН. На аэроснимках отмечаются тепловые аномалии бортовых валов лавовых потоков №№ 5 и 6 и фронтальной части лавового поля СП (здесь и далее по тексту фронтальная часть лавового поля без западного окончания лавового потока № 2). В последней аномальные температурные «волновые» по форме участки, возможно, обусловлены приуроченностью к валам коробления. В рамках совместного проекта в сентябре 1993 г. была проведена тепловая аэросъемка БТТИ, выполненная TIMS (НАСА), по данным которой во фронтальной части лавового поля более отчетливо проявилась волновая структура аномального теплового поля. Анализ последней тепловой аэросъемки, проведенной в сентябре 1994 г. комплексом «Зима» (Ан-24), показал значительное уменьшение аномалий в пределах бортовых валов вышеуказанных лавовых потоков №№ 5 и 6 и наличие значительной по площади термоаномалии в пределах западного окончания лавового поля СП БТТИ (рис.1). Данные наземных измерений в 1994 г. сотрудником ИВ ДВО РАН А.А. Овсянниковым свидетельствуют о том, что в 0.5 км от западного окончания фронта лавовых потоков СП на восток, на глубине 1 м температура соответствовала 603°C. С 1994 по 2003 г. (тепловая аэросъемка на БТТИ не проводилась из-за отсутствия финансирования) наземные измерения температур осуществлялись только в пределах кратерных зон Новых Толбачинских вулканов [5].



Рис.1. Конусы и лавовое поле Северного прорыва БТТИ. Тепловая аэросъемка комплексом «Зима» (Ан-24), сентябрь, 1994 г.

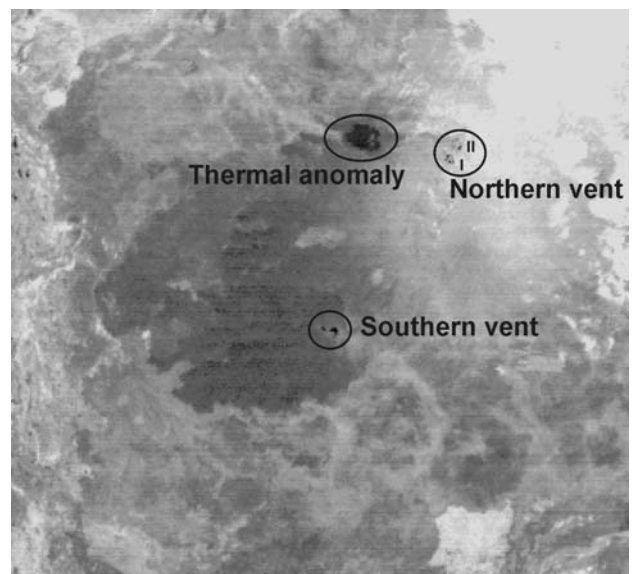


Рис.2. Термальная аномалия на лавовом потоке из второго конуса Северного прорыва Большого Трещинного Толбачинского извержения 1975-76 гг. I – первый конус, II – второй конус. Инфракрасный снимок спутника ASTER - Rick Wessels, Аляскинская вулканологическая обсерватория

С сентября 2002 г., с момента начала детальных исследований лабораторией ИСВА КОМСП инфракрасных снимков со спутников NOAA 16 и NOAA 17, в районе СП БТТИ 1975-1976 гг., на западе от конусов постоянно фиксировалась термальная аномалия (рис. 2). Прием данных обеспечивает КЦСМ (Камчатский центр связи и мониторинга). Обработку данных производит КОМСП ГС РАН. Rick Wessels из Аляскинской вулканологической Обсерватории, изучив более высокоразрешающие снимки Aster, подтвердил существование термальной аномалии, расположенной приблизительно в 3 км к западу от Северной группы Новых Толбачинских вулканов. На снимке Aster «горячее пятно», похоже на эллипс, вытянутый с запада на восток с поперечными размерами 1 км на 1.5 км. По общей (визуальной) мощности теплового потока термоаномалия оказалась сопоставимой с геотермальными полями, образующимися на растущих горячих куполах вулканов Шивелуч и Безымянный. Это послужило основанием о включении в комплекс полевых работ 2003 г. посещение лавовых потоков с целью подтверждения наземными измерениями аномалии, наиболее вероятное местоположение которой нам представлялось в пределах фронтальной части лавового поля СП БТТИ. Последняя, по результатам тепловых съемок, о которых говорилось выше, активно излучала тепло (см. рис.1).

Термоаномалии на моногенных конусах, пирокластических и лавовых потоках известны. Фумарольная деятельность на агломератовом потоке (средняя мощность 20-30 м, максимальная - 80 м) вулкана Безымянного, извергшегося в 1956 г., продолжалась 8 лет [3]. Лавовые потоки остывают значительно быстрее. Так, потоки извержения кратера Пийпа (в. Ключевской, побочное извержение в октябре 1966 г.) мощностью порядка 10-15 м, в основном, остыли в течение первых лет. По [11] в 1971 г. на поверхности лавового потока сохранилось только небольшое количество фумарольных площадок с температурой 50-60°C. Толща потоков Южного прорыва (ЮП) БТТИ мощностью до 40 м остыла в течение 4-8 лет (там, где она не была перекрыта шлаковым чехлом).

На конусах моногенных вулканов высокие температуры могут сохраняться дольше. Так, на вершине побочного конуса Билюкай, самого большого из исторических извержений побочных прорывов (1938 г.) Ключевского вулкана, температура 100°C была замерена в 1970 г., то есть, через 32 года после окончания извержения. На лавовом потоке в 1951 г., который к тому времени на большей части территории остыл, только в трех местах вблизи конуса сохранилась слабая фумарольная деятельность [10]. Известна длительное время сохраняющаяся повышенная, до 300°C и немного выше, температура прикратерных зон Первого, а по данным мониторингового слежения – Второго и Третьего конусов Северного и сходной зоны конуса ЮП БТТИ [5].

На схематической карте лавовых потоков СП [2, стр. 64], видно, что вещество фронтальной части лавового поля представляет собой, в основном, изверженный материал лаво-

вого потока № 6. Состав лав – магнезиальные базальты умеренной щелочности. Шестой лавовый поток излился из центрального кратера второго конуса. Вполне вероятно, что это была очередная мощная порция пятого потока, возникшая в результате активизации одной и той же бокки. В описании эффузивной деятельности СП БТТИ [2] лавовые потоки №№ 5, 6 и 12 объединены под общим названием «Главный поток». Шестой поток проложил себе путь по руслу пятого потока и широким шлейфом спустился до концов первого и второго потоков. Потоки наслоились друг на друга, поэтому суммарная мощность 5 и 6 потоков достигала у фронтов 50-(70)-80 м. [8]. Таким образом, в соответствии с хроникой извержения, особенностью местоположения исследуемой термоаномалии является ее пространственная приуроченность к месту пересечения пачки лавовых потоков второго конуса (№ № 6 и 12) с ранее излившимся лавовым потоком № 1 южной бокки и перекрывшим его лавовым потоком № 2 северной бокки первого конуса в 3.5 км на запад от зоны шлаковых конусов СП [2]. Логично предположить, что на момент перекрытия все четыре потока находились в горячем состоянии, поскольку период становления их был незначительным по времени (чуть более 1.5 месяцев).

Фронтальная часть лавового поля СП БТТИ в плане образует слабо выраженную подкову, обращенную вершиной вниз по течению лавовых потоков и окаймляющую зону скалистых образований (жидких) лавовых потоков заключительной стадии извержения СП промежуточного состава (между магнезиальными базальтами умеренной щелочности и субщелочными глиноземистыми базальтами) [2]. Поверхность фронтальной части лавового поля и его борта сложены преимущественно рыхлым вулканогенным материалом, представляющим собой хаотическое скопление рыхлого и несортированного по размерам грубого пирокластического материала. Это принесенные потоками от подножия конусов в большом количестве песок, дресва, лапилли, шлак, средние, реже крупные вулканические бомбы, еще реже - аккреционные шары. Очевидно, большой объем этих образований является пирокластическим материалом постройки второго конуса, его западной бортовой части, вынесенной на поверхности лавовыми потоками. Над общей поверхностью местами возвышались глыбы лав с натечными шероховатыми поверхностями, с ветвистыми расщепленными формами и валы рыхлого материала. Очевидно, во время движения лавовых потоков пирокластический материал скапливался в периферических частях, и потоки двигали его (материал) перед собой, образуя последовательно отлагающиеся валы. Встречались участки, иногда значительные по площади, перекрытые слоем пепла и шлака, засыпавшего неровности рельефа. После формирования пачки лавовых потоков и замедления их движения в связи с окончанием или ослаблением подпитки из лавовых бокк, движение возможно, продолжалось во внутренних частях лавового поля.

По состоянию на сентябрь 2003 г. в 1-1.5 км от западного окончания лавового поля СП и вглубь на 0.5 км от северного борта был зафиксирован участок с высокими близповерхностными температурами, которые в районе аномалии достигают 270°C (термометр ТЛ-500) - 300°C (термопара хромель-алюмель, глубина не более 0.5 м). Площадь участка ~ 200x300 м<sup>2</sup>. Субстрат представлен псевдоокатанными обломками окисленной с поверхности шлакоподобной лавы красно-бурого цвета, одинаковой размерности, в пределах 4-5 см в диаметре. На границе горячей зоны с зашлакованными участками и на зашлакованных участках вблизи зон трещиноватости при температуре 146-162°C встречались пятна фумарольно-измененных пород с образованием иногда плотных корок мощностью 1-(2)-3 см. На выходе с лавового поля, в его бортовой северной части (среди глыбовых лав афировой структуры на площадке, присыпанной шлаковым материалом) близповерхностная температура (в трещине, незначительной по простиранию) была 90°C. Шлак по краям трещины был сцементирован новообразованиями. По данным химических исследований измененные породы представлены фторметасоматитами и обеленными шлаками, из которых вынесены все темноцветные. Повышенные (возгорание бумаги) близповерхностные температуры были также зафиксированы недалеко от южного борта фронтальной части лавового поля. В пределах также борта «Главного потока», на расстоянии 3-3.5 км от истока, близповерхностная температура была около 100°C.

Нам представляется, что установленный недалеко от северного борта в пределах фронтальной части лавового поля участок с высокими близповерхностными температурами является одним из серии участков, составляющих площадную термоаномалию с волновой структурой аномального теплового поля, обусловленной приуроченностью этих участков к валам коробления, которые по образуются в заключительную стадию становления потоков. Валы в плане протягивались на 20-150 м при ширине от 3 до 20 м перпендикулярно направлению движения потоков и имели слабовыраженную дугообразную форму [4]. Валы коробления, как было сказано выше, имеют непосредственную связь с литоидной частью потока, которая здесь погребена под мощным чехлом агломерата. Встречающиеся фумарольно-измененные породы свидетельствуют о наличии проницаемых зон, перекрытых агломератом, и могут иметь значительную глубину, уходящую в литоидную часть потоков.

В плане общая площадь, занимаемая аномалией, может составлять максимально 1.5x2.0 км<sup>2</sup>. По [9] мощность отложений в центральной части западного окончания лавового поля СП составляет 80 м, в окраинных частях снижается до 30-40 м, отсюда средняя мощность – 60 м. Таким образом, можно утверждать, что общий объем прогретой зоны достаточно велик и может составлять 1.8x10<sup>8</sup> м<sup>3</sup>. С учетом плотности лав до 2800 кг/м<sup>3</sup> [15] – это равно 5.04x10<sup>11</sup> кг или 0.504x10<sup>9</sup> т, что примерно соответствует 31% от всей извергнутой массы (1.64x10<sup>9</sup> т [1]) твердых продуктов в пределах СП БТТИ.

Температурное распределение по разрезу лавового потока оценим по решению задачи теплопроводности для остывания пластины  $0 < x < l$ , которая имеет в начальный момент постоянную температуру, равную  $T_0$ , в области  $x > l$  поддерживается нулевая температура, а на границе  $x=0$  теплообмен отсутствует [9].

Для расчета теплофизические свойства взяты из работы [15], где теплоемкость  $c=840$  дж/кг.град; плотность  $\gamma=2800$  кг/м<sup>3</sup>; теплопроводность  $\lambda=2,3$  Вт/м.град. Соответственно, температуропроводность  $\chi=\lambda/c\gamma = 9,78 \times 10^{-7}$  м<sup>2</sup>/с, параметр Фурье  $Fo=\chi t/l^2=0,24$  при времени остывания 28 лет и толщине пластины  $l=60$  метров. Расчет проводился по аналитическому решению с помощью программы MathCad.

Как видно из графика на рис.3 при начальной температуре 1000°C, температура на

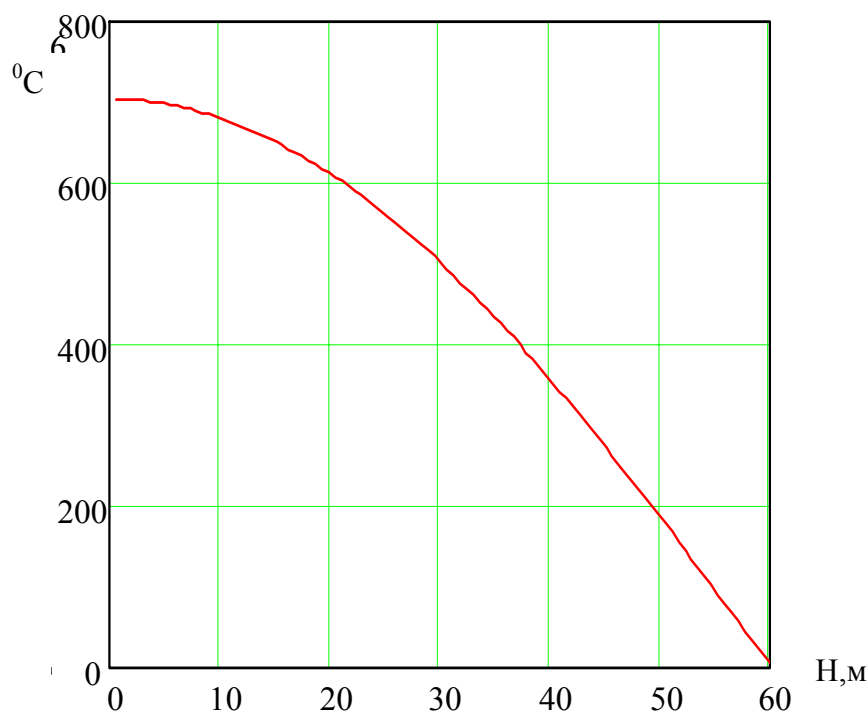


Рис.3. Расчетное распределение температуры в лавовом потоке мощностью 60 м через 28 лет остывания при значении теплофизических свойств: теплоемкость – 840 дж/кг.град; плотность – 2800 кг/м<sup>3</sup>; теплопроводность – 2.3 Вт/м.град

подошве потока спустя 28 лет составляет 700°C. Значение средней температуры по высоте потока, которая по расчету составила 450°C, свидетельствует о том, что поток за это время отдал только чуть больше половины своего начального теплосодержания.

Среднее за время остывания значение теплоотдачи составляет

$$q = H\gamma c(T_0 - T)/t = 88 \text{ Вт/м}^2\text{сек}$$

При площади разогретого участка потока  $1.5 \times 2 \text{ км}^2$  мощность выноса тепла составляет более 250 МВт.

**Заключение.** Извержение в пределах Северного прорыва БТТИ закончилось 15 сентября 1975 г. Спустя 28 лет на большей площади лавового поля СП фумарольная деятельность прекратилась. В пределах фронтальной части лавового поля в 3.5-4.5 км от истока на

площади 1.5x2 км<sup>2</sup> наблюдается сохранение высоких (макс. 270-300°С) близповерхностных температур.

### Список литературы

1. Атлас «Действующие вулканы Камчатки». 1991. М.: Наука. Том 1. С. 299.
2. Большое трещинное Толбачинское извержение (1975-1976 гг., Камчатка)/ Под ред. С.А. Федотова. М.:Наука, 1984. 637 с.
3. Борисов О.Г. Особенности газо-гидротермальных проявлений на пирокластических потоках. Автореферат дис. на соискание ученой степени к.-г.-м.н. 1965. Владивосток. 29 с.
4. Ванде-Кирков Ю.В., Адреев В.Н., Гусев Н.А. Эффузивная деятельность Северного прорыва (вулкан Толбачик, 1975 г.) // Бюлл. вулканол. станций. 1979. № 56. С. 25-37.
5. Вергасова Л.П., Дрознин В.А., Дубровская И.К. О температурном режиме на одном из Новых Толбачинских вулканов. Материалы юбилейной сессии КНЦ ДВО РАН, посвященной 40-летию Института вулканологии «Современный вулканизм и связанные с ним процессы». 2003. Петропавловск-Камчатский. С. 86-88.
6. Вергасова Л.П. Фумарольные инкрустации лавовых потоков эффузивно-эксплозивного периода Большого трещинного Толбачинского извержения // Вулканология и сейсмология. 1983. № 6. С. 75-87.
7. Гусев Н.А., Зеленов Е.Н., Шилин Б.В. Тепловая съемка Толбачинского извержения // Бюлл. Вулканол. Станций. 1979. № 56. С. 57-62.
8. Двигало В.Н., Селезнев Б.В., Магуськин М.А. Новые результаты обработки материалов аэрофотосъемки Большого трещинного Толбачинского извержения // Вулканология и сейсмология. 1980. № 3. С. 90-93.
9. Карлсруу Г., Егер Д. Теплопроводность твердых тел. М.: Наука, 1964. 488 с.
10. Набоко С.И. Вулканические эксгалляции и продукты их реакций // Тр. Лаб. вулканол. Вып. 16. 1959. М.: Наука. 300 с.
11. Серафимова Е.К. Минералогия возгонов вулканов Камчатки. 1979. М.: Наука. С. 167.
12. Серафимова Е.К., Вергасова Л.П. К вопросу об образовании гидромагнетита на лавовых потоках Большого Трещинного Толбачинского извержения // Докл. АН СССР. 1981. Т. 259. № 3. С. 680-683.
13. Серафимова Е.К., Вергасова Л.П., Зиборова Т.А. Образование карбонатов на фумарольных полях Большого трещинного Толбачинского извержения // Вулканология и сейсмология. 1986. № 2. С. 46-59.



14. Хренов А.П. Современный базальтовый вулканизм Камчатки (результаты аэрокосмических и петрологических исследований). Автореферат диссертации на соиск. уч. степени д.г-м.н. Москва. 2003 г. 40 с.
15. Connor C.B., Lictner, Conway F.M., Hill B.E., Ovsyannikov A.A., Fedorchenko I., Doubik Yu., Shapar V.N., Taran Yu.A. Cooling of an igneous dike 20 yr after intrusion // *Geology*. August 1997. V. 25. № 3. P. 711-714.