

УДК 551.235+551.21

## ВЛИЯНИЕ БОЛЬШОГО ТРЕЩИННОГО ТОЛБАЧИНСКОГО ИЗВЕРЖЕНИЯ (БТТИ) 1975-76 ГГ. НА НЕКОТОРЫЕ ПАРАМЕТРЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В ТЕЧЕНИЕ 30 ЛЕТ

© 2006 В. И. Андреев<sup>1</sup>, А. В. Андреев<sup>2</sup>, Т. Ю. Самкова<sup>1</sup>, О. В. Соболевская<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, 683006, Петропавловск-Камчатский, бульвар Пийна 9;  
факс: (415)5-94-05; e-mail: via@kscnet.ru

<sup>2</sup>Камчатский государственный технический университет 683003, Петропавловск-Камчатский, Ключевская, 35

<sup>3</sup>Камчатский государственный университет имени Витуса Беринга, 683032, Петропавловск-Камчатский,  
Пограничная, 2

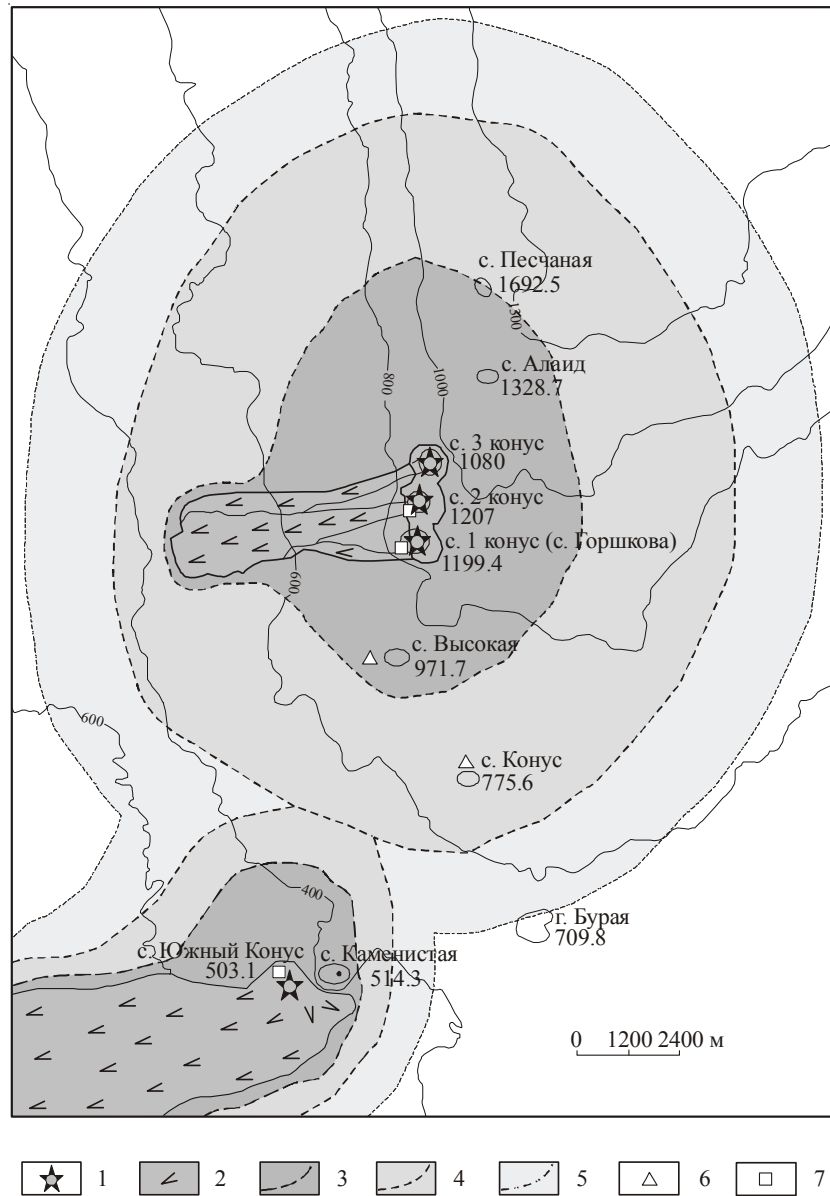
Большое трещинное Толбачинское извержение (БТТИ) явилось одним из крупнейших в XX веке по объему изверженного материала – 2.2 км<sup>3</sup> и влиянию на окружающую среду. В представленной работе приводятся результаты исследований ряда изменений различных параметров окружающей среды, произошедших во время извержения в 1975 – 1976 гг. и в последующее время до 2005 г. Район исследований включает центры извержения с прилегающей к ним территорией в радиусе 10 км. Основные параметры исследования включали: рельеф, деформации, радиоактивность, криолитозону, биоту, термоаномалии.

### ВВЕДЕНИЕ

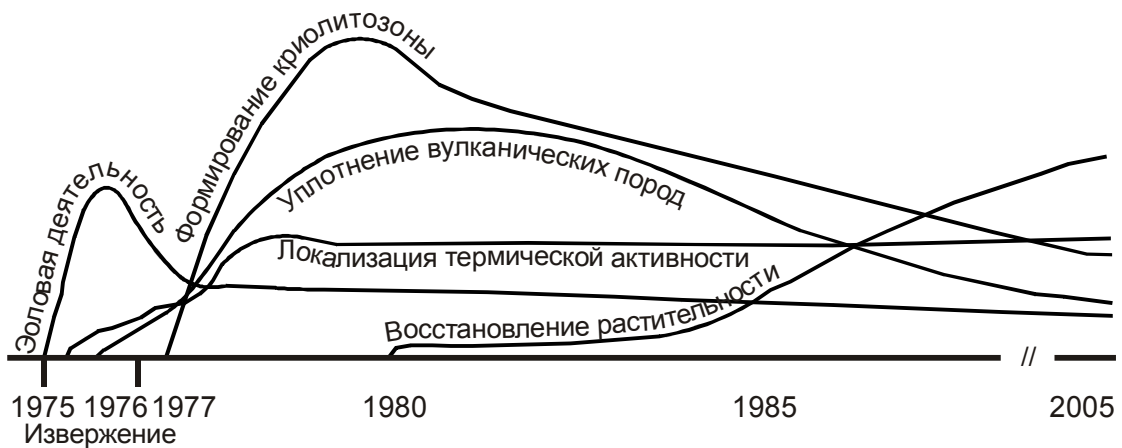
С развитием цивилизации человек все теснее сближается с вулканами. В этом сближении выделяются две диаметрально противоположные стороны: благоприятная, связанная с повышением плодородия почв и возможностью использования дешевой энергии земных недр, и опасная, связанная с огромной разрушительной силой извержений вулканов (Макдоналд, 1975). На примере БТТИ можно проследить обе стороны влияния извержения на окружающую среду как непосредственно во время извержения, так и в течение нескольких последующих десятилетий.

Большое трещинное Толбачинское извержение (БТТИ) 1975-76 гг. является одним из крупнейших в XX веке по объему изверженного материала – не менее 2.2 км<sup>3</sup> (Федотов, 1984). По воздействию на важнейшие параметры окружающей среды: рельеф, биоту и др. это извержение представляет собой грандиозную катастрофу и может быть примером наглядного аналога “ядерной зимы” (Реймерс, 1990). Воздействие на окружающую среду, начавшееся в момент извержения и охватившее окрестности в радиусе более 10 км от центров извержения, продолжается и сейчас, по прошествии 30 лет после окончания извержения.

Наблюдения в районе БТТИ периодически проводились авторами настоящей работы с 1975 г. по настоящее время (2005 г.) и состояли в исследовании изменений элементов окружающей среды: термопроявлений, деформаций, формирования и преобразования рельефа, криолитозоны, гидрологии, биоты, включающей растения и животных, радиоактивности и др. Все перечисленные явления прямо или косвенно относятся к экологическому эффекту БТТИ. В представленной работе особо отмечены природные процессы и явления, определенно связанные с извержением, в значительной мере продолжающиеся до сего времени и мало затронутые предыдущими исследователями. Различная степень поражения растительности показана на карте масштаба 1: 100000 (рис. 1); изменения ряда параметров района с начала извержения до настоящего времени, включающие преобразование рельефа и локализацию термоаномалий, представлены на графике (рис. 2), публикуются впервые. Приведены данные о термоаномалии, обнаруженной по данным аэрокосмической инфракрасной съемки спутника NOAA 16 (AVMMR – приемник) в 2002 г. Прием данных обеспечивает КЦСМ (Камчатский центр Связи и Мониторинга). Обработку данных производит КФ ГС РАН.



**Рис. 1.** Карта – схема поражения растительности и мест отбора газа для определения OARn. 1 - центр современного извержения, 2 - лавовые потоки и направление их движения, 3 - 100 % поражения, 4 - 50 % поражения, 5 - 10-20 % поражения; точки отбора проб на OAP: 6 - 1990 г., 7 - 2000-2005 гг.



**Рис. 2.** Изменение отдельных характеристик окружающей среды в связи с извержением БТТИ.

## НЕКОТОРЫЕ ИССЛЕДОВАННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

**Рельеф и деформации** тесно связаны между собой и потому рассматриваются совместно. В результате извержения возникли шлако-лавовые конусы, лавово-пирокластические потоки и шлако-пепловые покровы. С момента образования этих форм рельефа началась их деформация. Деформации и преобразования рельефа были вызваны уплотнением, литификацией изверженного материала, преимущественно рыхлого, и выполаживанием склонов, первоначальная крутизна которых была близка к углу естественного откоса  $\sim 33^\circ$ . В связи с этим склоны были весьма неустойчивы, и выполаживание продолжается до сего времени. В кратерах, особенно Второго конуса Северного прорыва и конуса Южного прорыва, в связи с оттоком лавы после прекращения эффузивной деятельности, амплитуда просадок составила до ста метров, а крутизна образовавшихся склонов-обрывов, сложенных преимущественно агглютинатами и лавами, достигла  $70-80^\circ$ . Такая крутизна склонов поддерживалась спеканием, так как рыхлые породы в момент извержения были горячими и вязкими. Спекание усиливалось при продувке горячими газами; в незначительной степени спеканию и устойчивости склонов могли способствовать выплески лавы, облепляющие стенки кратера. В связи с такими крутыми стенками, камнепады, оползни и обвалы, предваряющиеся в ряде случаев трещинами отседания, в этих кратерах происходили достаточно активно, особенно во время извержения и в первые годы после его окончания. В кратерах Первого и Третьего конусов сходные процессы - оползни и обвалы - происходят, хотя и не столь интенсивно, и сейчас. Так, в течение девяти месяцев 2003 года мощность рыхлых отложений в кратере Первого конуса увеличилась приблизительно на 1 м, что было установлено проходкой шурфа на дне кратера, вскрывшем захороненную **криолитозону**, включающую фирн, образовавшийся зимой 2002-2003 гг. на этой глубине.

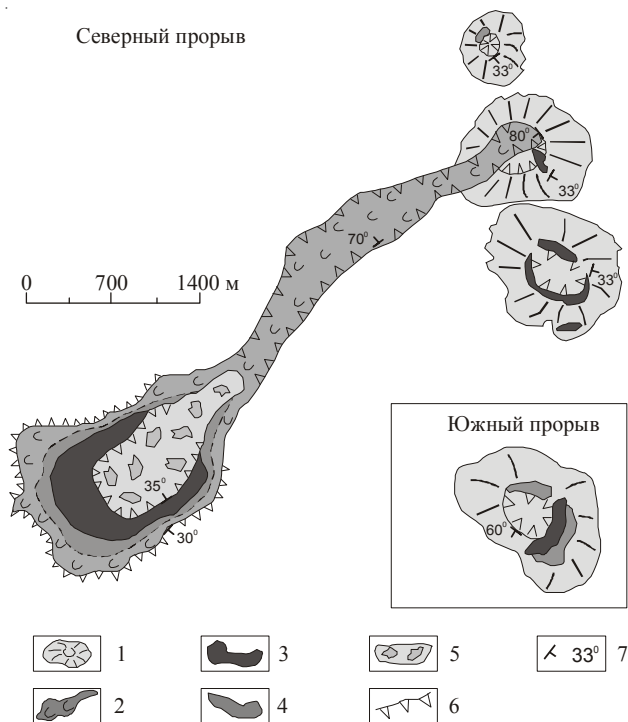
Осыпи и обвалы с внешних склонов конусов Северного и Южного прорывов также продолжают до настоящего времени. Это видно по свежим обломкам и бомбам, скатившимся к подножиям конусов, иногда оставлявшим следы на склонах и по осыпям, бронирующим захороненные снежники и ледники. Так, у юго-восточного подножия Первого конуса наблюдается ступень высотой  $\sim 3$  м, в которой под шлаковым покровом, мощностью 60 см, обнажается захороненный ледник, видимой мощностью 2.5 м. Этот ледник представляет собой шлак, сцементированный льдом, где соотношение шлака и льда  $\sim 1:1$ . В течение последних лет в этом же секторе происхо-

дит напластование последующих снежников, превращающихся в многолетнемерзлые шлаки, наращивающие криолитозону.

Деформации связаны, очевидно, с просадками и относительно “холодным” продолжением движения лавово-пирокластических потоков. Расползание лавовых потоков, без их подпитки свежей лавой, проявилось в большей степени там, где мощность потоков, вернее, мощность толщи потоков была не менее 70 м. Эта средняя часть толщи потоков, в плане напоминающая опрокинутую горлом к истоку колбу, располагается в 3-4 км от истока этих потоков. Максимальная протяженность зоны порядка 1.5 км, ширина до 0.6 км. Зона окружена бортовыми валами, относительная высота которых над подстилающей поверхностью достигает 35 м, над поверхностью зоны или внутренними частями потоков – 20 м. Причем во фронтальной части толщи потоков бортовые валы как бы сморщены и образуют серию вложенных друг в друга дугообразных складок. Эти складки были отмечены в начале формирования толщи потоков и названы валами коробления (Федотов и др., 1984).

Как и у кратеров БТТИ, у бортовых валов внешние склоны более пологие, чем внутренние. И на внутренних, и на внешних склонах местами видны свежие осыпи и оползни. Поверхность бортовых валов сложена преимущественно мелкой и средней пирокластикой – пеплами, шлаками и бомбами, принесенными, очевидно, от конусов и их подножий. Во время активного движения лавы эта пирокластика была сосредоточена у бортовых зон потоков, что отмечалось предыдущими исследователями (Федотов и др., 1984). У подножий бортовых валов изредка встречаются аккреционные шары размером до 2 м, также принесенные лавовыми потоками от подножий конусов и “дораставшие” при движении в этих потоках.

Ближайшая к истокам потоков Северного прорыва часть зоны представляет собой глубокий протяженный провал-каньон, разбитый продольными и поперечными трещинами (рис. 3). Этот каньон, образованный во время извержения активно текущими лавовыми потоками, в первые годы был сравнительно неглубоким, порядка 3-5 м. В дальнейшем его глубина увеличилась приблизительно вдвое, и процесс углубления продолжается. Образование каньона обусловлено, главным образом, тремя факторами. Это, во-первых, механическое воздействие лавовых потоков на подстилающую поверхность – выпахивание; во-вторых, уплотнение нижележащих вулканогенных пород, в значительной степени рыхлых; в-третьих, протаивание нижележащих мерзлых пород – криолитозоны и, соответственно, сокращение ее объема. Далее, вниз по течению потоков появляются фрагменты лавовых потоков, пред-



**Рис. 3.** Карта-схема рельефа и термоаномалий Северного и Южного прорывов БТТИ. Условные обозначения: 1 – конуса Новых Толбачинских вулканов, 2 – лавовые потоки 2-ого конуса БТТИ, 3 – термальные площадки с  $T = 200-300\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 4 – термальные площадки с  $T = 100-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 5 – скалистые останцы на толще лавовых потоков, 6 – обрывистые склоны, 7 – элементы залегания.

ставляющих собой группы скал, местами ориентированные в продольном, реже, поперечном направлении по отношению к направлению течения потоков. В скальной части зоны просматриваются преимущественно разрывные пластические деформации. Довольно часто в бортовых валах и в средней деформированной скалистой зоне потоков встречаются зеркала скольжения. Максимальная высота скал достигает 10 м, местами немного более. По форме и размерам эти скалы – останцы представляют собой уникальные образования, не встреченные в других местах в окрестностях Ключевской группы вулканов и характерные, очевидно, только для БТТИ (рис. 3). Похожие образования встречались в средних частях потоков других конусов ареальных извержений, однако, их форма была не такой остроугольной, а размеры, по крайней мере, втрое меньше.

Кроме деформаций, связанных с конусами и лавовыми потоками БТТИ, подобные явления возникли или усилились в последние десятилетия и в окрестностях (северный прорыв) СП БТТИ, покрытых слоем пирокластики мощностью в 1-2 м. К таким деформациям относятся протяженные трещины, отходящие к западу от подножия сопки Высокой и трассируемые прерывистыми цепоч-

ками провалов шириной 6-7 м, глубиной до 7-9 м. Протяженность отдельных провалов достигала 10-12 м. Похожая трещина глубиной до 6 м и шириной до 5 м отходит к северу от сопки Конус. На расстоянии приблизительно 0.5 км от сопки Конус эта трещина выполаживается и далее к северу не прослеживается под слоем шлака БТТИ.

В начале лета 1980-81 гг. при проведении радиометрической съемки на Толбачинском долу в 10 км от СП БТТИ (и в 2-5 км к ССВ от Песчаных гор) фиксировались сравнительно небольшие по ширине (в пределах 1 м) и протяженностью не более 10-15 м трещины.

Из отмеченных выше фактов следуют два вывода.

1. В южном секторе подножия Толбачинских (на Толбачинском долу) вулканов наблюдается растяжение, фиксируемое на поверхности эффузивно-эксплозивных образований БТТИ и, в меньшей степени, за их пределами по дислокациям и трещинам.

2. На конусах и шлако-лавовых потоках БТТИ продолжается активное уплотнение и горизонтальное перемещение изверженного материала, фиксируемое по просядкам, осыпям, обвалам и оползням.

**Криолитозона** или многолетнемерзлые породы развиты на южном подножье Толбачинских вулканов (Острого и Плоского Толбачиков) с высотных отметок порядка 400 м и выше. Местами криолитозона фиксируется и ниже, даже на отметках ~300 м. Граница стабильного состояния ледников (или снеговая граница) в районе Ключевской группы вулканов находится на отметках порядка 1700 м. Приблизительно такова и нижняя граница многолетнемерзлых пород – криолитозоны, например, у южного подножия Ключевского вулкана (Горная энциклопедия, 1986). Столь низкая граница криолитозоны в районе БТТИ обусловлена, главным образом, двумя причинами. Это, во-первых, литологический фактор наличие мелкопористых шлаков, способных прочно удерживать воду (Андреев, Ковалев, 1981), и литифицированных пеплов, образующих водупорные прослои. Литифицированные пеплы, подстилающие захороненные ледники, были обнаружены в керне скважины на глубине в первые десятки метров (Андреев, 1982). Гигроскопичные свойства некоторых вулканогенных пород отмечены и в других районах мира (Макдоналд, 1975).

Во-вторых, это – благоприятные для образования криолитозоны метеоусловия – продолжительные холодные малоснежные зимы. При обилии осадков на территории Камчатской области, южное подножие Толбачинских вулканов входит в самый «сухой» район Камчатки (Физическая карта, 1975). Хорошая проницаемость шлаков и лав, слагающих приповерхностные го-

ризонты района, очевидно, способствует их промерзанию на значительную, до первых десятков метров, глубину. Скважина, пробуренная в августе 1978 г. М. Д. Лесных в 300 м к западу от Третьего конуса СП на отметке около 900 м, вскрыла криолитозону от глубины 1.5 м до забоя - глубины 55 м. Не вышла из мерзлых пород и скважина глубиной 30 м, пробуренная тогда же в 1.5 км южнее первой скважины на отметке 800 м.

Многолетнемерзлые шлаки многократно фиксировались в шурфах в 1980 – 2000-х годах. Верхняя граница мерзлых пород в теплое время года фиксировалась на шлако-пепловых полях (абс. высота 1500 - 1800 м над уровнем моря) на глубине 0.8 – 1.5 м. На отметках 800 – 700 м над уровнем моря верхняя граница мерзлых пород опускалась до глубины 1.7 – 2.0 м. Причем, в ряде случаев в шурфах на глубинах порядка 1 м фиксировался промежуточный прослой сезонно замерзающих пород.

Мощность грунтов от земной поверхности до кровли криолитозоны можно рассматривать, как показатель динамики состояния мерзлоты. Зная некоторые параметры климата района и толщи вулканогенно-осадочных пород, мы можем оценить прочие, пока неизвестные параметры и сравнить их с данными других районов и исследователей, воспользовавшись известной формулой:

$$\theta = (1/d_n + \delta/\lambda) (\tau_{срл} - \tau_{срм}), \text{ откуда} \\ \delta = (\theta/\tau_{срл} - \theta/\tau_{срм} - 1/d_n) \cdot 1/\lambda, \quad (1)$$

где  $\theta$  – удельный тепловой поток на 1 м<sup>2</sup> (вт/м<sup>2</sup>),  $d_n$  – коэффициент теплоотдачи от наружного воздуха к поверхности грунта, вт/м<sup>2</sup>°C;  $\delta$  – мощность грунта от земной поверхности до мерзлоты, в метрах,  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности грунта, вт/м<sup>2</sup>°C,  $t_{срл}$  – средняя летняя температура, °C;  $t_{срм}$  – температура в кровле мерзлоты, °C.

Следует отметить, что в конце августа - начале сентября 2005 г. мощность рыхлого грунта над мерзлыми породами в кратере Первого конуса на абсолютной отметке ~1000 м не превышала 0.5 м, у подножия Первого конуса на абсолютной отметке ~850 м составляла 0.7 м, а у западного подножия сопки Высокой достигала 5 м.

Образование захороненных снежников, превращающихся вскоре в фирн, а затем в лед, зафиксировано впервые в кратере Первого конуса в 1977 г. Затем такие образования отмечались неоднократно на протяжении всего периода наблюдений в кратере и у подножия Первого конуса, а также у подножий других конусов. В начале сентября 2003 г. мерзлая пирокластика была вскрыта шурфом на глубине 1 м в кратере Первого конуса, а у юго-восточного подножия этого конуса мерзлые породы мощностью более 2 м были вскрыты под слоем шлака мощностью 60 см. Свежий рых-

лый захороненный снег был обнаружен в сентябре 2003-2005 гг. в провалах в 300 м к западу от сопки Высокой под слоем шлака мощностью 20-30 см.

В 1976-1977 гг. в бортах провалов к западу от сопки Высокой обнажился захороненный лед мощностью 1.5-2.0 м, наблюдавшийся затем в течение ряда последующих лет до конца XX века. Захороненный снег и фирн мощностью до 1.5 м на дне некоторых провалов наблюдался в августе - сентябре 2003-2005 гг.. В интервале высотных отметок 1000 – 700 м в последние годы фиксировались в рыхлых породах концентрические просадки, диаметром 0.5-1.0 м, глубиной до 1 м. Как отмечалось выше, в течение последних 30 лет продолжается углубление каньона, образованного лавовыми потоками Второго конуса Северного прорыва. По нашему мнению, все это - свидетельства таяния мерзлых пород, по крайней мере, их верхнего слоя.

Перечисленные факты убедительно показывают, что образование захороненных ледников на БТТИ и в его окрестностях происходит в настоящее время. Сходный процесс захоронения ледников происходит сейчас на юго-западном склоне конуса извергающегося вулкана Карымского на высотных отметках 900-1400 м (т. е. значительно ниже границы снега и льда в этом районе). Вместе с тем, налицо и явное таяние захороненных ранее до БТТИ ледников и верхних, а возможно, и более нижних горизонтов мерзлых пород. Мы пока не можем с уверенностью сказать, связано ли это таяние с общим или местным потеплением, с нарушением равновесия, вызванного отложением пород БТТИ, или с локальным возрастанием теплового потока – разогрева в районе БТТИ. Предположения о возможном разогреве возникли в связи с последними исследованиями криолитозоны в районе скважины у западного подножия третьего конуса СП. Такой разогрев, представлявший собой выравнивание температур подводящего магму канала и вмещающих пород, мог проявляться во время извержения и после его окончания. Этот разогрев мог усиливаться в результате образования трещин, по которым циркулировали горячие газы и, таким образом, к сравнительно медленному кондуктивному способу переноса тепла добавлялся гораздо более быстрый - конвективный.

**Радиоактивность** пород и радиогенных газов БТТИ и его окрестностей измерялась и обсуждалась рядом исследователей (Титаева и др., 1977; Абрамовский и др.; 1977; Адамчук и др., 1983; Андреев, 1979; Андреев и др., 2001). Содержание материнских радиоактивных элементов в породах БТТИ близко к среднему для пород такого типа. В породах Южного прорыва БТТИ обнаружены микроскопические сгущения с высоким содержанием урана, предположительно связанные с мик-

рокристаллами - концентраторами типа циркона, сфена, апатита. По подсчетам (Андреев, 1979), в изверженных породах в таких сгущениях находилось иногда до 30 % урана.

В неизмененных породах БТТИ содержания урана и тория близки к кларковым, коррелируют с содержанием щелочей, прежде всего калия, и по ряду параметров свидетельствуют о существенном влиянии “коровой составляющей”. В некоторых измененных породах имеется корреляция с содержанием фтора. Обращает на себя внимание неравновесность материнских и дочерних изотопов уранового ряда в породах БТТИ. В то же время, в ксенолитах мел-палеогенового возраста, вынесенных этим извержением с глубины 2 км, такая неравновесность отсутствует (Андреев и др., 2001). Отчетливо прослеживается главная региональная особенность распределения РАЭ – низкое торий-урановое отношение.

Концентрация радиогенных газов (по существу - объемная активность радона - OARn) определялась в пепловом шлейфе 3 - 6 сентября 1975 г. (Абрамовский и др., 1977) и составила  $10^{-9}$  Ки/м<sup>3</sup> ( $n \cdot 10^3$  Бк/м<sup>3</sup>), что превышало фон на 2 порядка. Затем, в fumarолах и микрограбене Северного прорыва в сентябре 1981 г. Ю.В. Адамчук и П.П. Фирстов определили объёмные концентрации радона до  $> 5$  эман ( $1.8 \cdot 10^4$  Бк/м<sup>3</sup>).

В последующие годы, начиная с 1991 г., периодически повторялись измерения в тех же и других местах БТТИ (рис. 1). OARn в тех же точках в микрограбене и fumarолах Первого и Второго конусов снизилась на порядок, по сравнению с измеренной 10 лет назад Ю.В. Адамчуком и П.П. Фирстовым, и не превышала  $3.5 \cdot 10^3$  Бк/м<sup>3</sup>. В таких же пределах была OARn и в fumarолах Южного конуса (Адамчук, Фирстов, 1986).

В последующий период наблюдалось дальнейшее снижение концентрации радиогенных газов в fumarолах и трещинах на конусах БТТИ. В 2000 - 2005 гг. OARn на высокотемпературных участках (бывших fumarолах) Северного и Южного прорывов БТТИ не превышала  $2.5 \cdot 10^3$  Бк/м<sup>3</sup> (рис. 4).

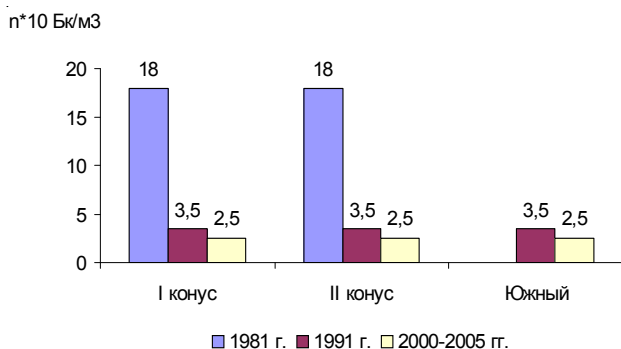


Рис. 4. График вариаций величины OARn на I, II и Южном конусах БТТИ в 1981 г., 1991 г. и 2000 – 2005 гг.

Обращает на себя внимание хорошая проницаемость, отсутствие плотных экранирующих слоев на приповерхностных эффузивно – эксплозивных образованиях БТТИ и его окрестностей. По данным предыдущих исследователей, зона аэрации на шлаковых конусах БТТИ достигает первых десятков метров (Трухин, Шувалов, 1984). Очевидно, в связи с этим в шлаках и лавах, которые обычно сильно трещиноваты и проницаемы, на глубинах порядка первых метров происходит “разбавление” так называемого почвенного радона атмосферным воздухом, вследствие чего OARn на глубине 0 – 0.5 м в окрестностях БТТИ, как правило, не превышает 70 Бк/м<sup>3</sup>. В то же время, в скважинах, верхняя часть которых до глубины 10 м обсажена, OARn на порядок больше -  $n \cdot 10^3$  Бк/м<sup>3</sup>. Порядка  $3 \cdot 10^3$  Бк/м<sup>3</sup> было в 1990 – 2000 годах в сравнительно неглубоких, до 5 - 7 м от земной поверхности, пещерах в 2 км к западу от Южного конуса БТТИ. Небольшое повышение OARn до  $1 \cdot 10^3$  Бк/м<sup>3</sup> наблюдалось под коркой спекшихся пород на внутренней кромке кратера в юго-западном секторе Первого конуса и на верхней части склона конуса Южного прорыва. При замерах в “горячих”, до 600°C, точках корреляции OARn с температурой не наблюдалось, как и в предыдущих исследованиях (Адамчук, Фирстов, 1986). Следует отметить также очень слабое, по сравнению с fumarолами других вулканов и гидротермальных систем, выделение fumarольных газов во всех исследованных на БТТИ горячих точках.

Сравнительно высокие значения OARn - до  $3 \cdot 10^4 - 5 \cdot 10^4$  Бк/м<sup>3</sup> - были обнаружены в 2000 г. в трещинах-провалах в 300 м к западу от подножия соп. Высокой и в 2001 году в похожих трещинах в 100 м к северу от соп. Конус. Высокие значения иногда повторялись при последующих измерениях, проведенных как через несколько дней, так и повторенных в последующие 5 лет. Точки отбора проб газа и динамика изменения OARn показаны на карте – схеме (рис. 1) и графике (рис. 4).

Приведенный материал позволяет сделать следующие выводы.

1. Вулканы БТТИ характеризуются средним, близким к кларковому, содержанием РАЭ, низким торий-урановым отношением, характерным для камчатских вулканитов, и повышенным содержанием радия, не подкрепленного материнским ураном. Это соотношение характерно и для других пород, изверженных действующими вулканами мира, особенно Везувием.

2. OARn в приповерхностных шлаках и лавах БТТИ и его окрестностей, в том числе на прогретых до нескольких сотен градусов участках, сравнительно низкая, очевидно, в связи с хорошей проницаемостью и, соответственно, разбавлением почвенного радона атмосферным воздухом.





Рис. 5. Лиственница диаметром 50 см, транспортируемая лавовым потоком Южного прорыва БТТИ в 3 км от истока этого потока. Февраль 1976 г.

3. Периодические кратковременные, иногда значительные, на два порядка, повышения  $OARn$  над трещинами свидетельствуют о том, что эти трещины испытывают напряжения, подновляются, вследствие чего происходит кратковременное возрастание эманационной способности пород, в которых развиты трещины.

Воздействие вулканизма на **биоту** многообразно, и этой теме посвящены многочисленные работы зарубежных и русских ученых (Макдоналд, 1975; Мархинин, 1980; Манько, Сидельников, 1989).

Наши наблюдения дополняют данные, приведенные этими исследователями. Биота, включающая растительность и животных, подверглась сильнейшему деструктивному воздействию во время извержения. До извержения в районе будущего Северного прорыва были распространены горные тундры. На склонах ближайших к центру извержения старых конусов была развита стланиковая растительность, преимущественно кедровый стланик, реже встречался ольховый стланик. Граница лесной растительности, представленной преимущественно лиственницей, реже елью, березой и ивой, почти вплотную подходила с юга к будущим конусам Северного прорыва. В лесу были местами развит густой подлесок из шиповника, жимолости, смородины и др. Животный мир района, видимо, был представлен обычными для подобного ландшафта обитателями.

Район Южного прорыва, расположенный в 400–500 м ниже, был покрыт лесом, преимущественно лиственничным, с небольшой примесью березы и ели. Среди леса встречались протяженные поляны, приуроченные к развалам крупных угловатых лавовых обломков. На полянах и крутых склонах обычны были заросли кедрового и ольхового стлаников. Общим для районов будущих прорывов было преобладание растительности, не требующей обильного увлажнения.

Как и при всяком наземном извержении вулкана, разрушительное воздействие подразделялось на тепловое, механическое и химическое. Тепловое воздействие, среди перечисленных, имело самый малый радиус поражения. У конусов БТТИ при эксплозиях - это всего лишь 0.5 – 1.0 км от центра извержения, где падающие бомбы могли поджечь или обжечь растительность. На эффузивных потоках термическое воздействие проявлялось на всем протяжении потоков: до 5.5 км на лавовых потоках Северного и до 9 км на потоках Южного прорыва. Причем на лавовых потоках Северного прорыва дальше 4 км лава обычно не поджигала древесную растительность, а ломала или выворачивала с корнями и двигала перед фронтом потока. На потоках Южного прорыва зона поджога была почти вдвое больше и составляла 6–7 км (рис. 1, 5). Зона механического повреждения захватывала значительно большую, по сравнению с зоной термического воздействия,

площадь. Для воздействия взрывного материала Северного прорыва это радиус не менее 2-3 км, для Южного прорыва, соответственно, не менее 2 км. Причем механическое воздействие продолжалось в течение многих лет после извержения при перемещении подвижного шлакопеплового материала ветрами. Активная обработка стволов древесно-кустарниковой растительности шлаком и пеплом на расстоянии до 7-10 км от центров извержений вследствие эоловой деятельности продолжалась около 15 лет и в меньших масштабах продолжается по сей день. Проявление эоловой и сопутствующей абразивной деятельности весьма неравномерны и особенно заметны на склонах, у края леса, на отдельно стоящих деревьях.

Самая большая площадь подверглась "химическому" воздействию извержения. Под влиянием этого воздействия древесная и кустарниковая растительность в радиусе около 4 км от Северного и в 2-3 км от Южного прорывов БТТИ была погублена полностью. В радиусе от 4 до 5-6 км от Северного прорыва и от 2 до 4 км от Южного прорыва было погублено приблизительно 50 % древесной и кустарниковой растительности и в радиусе от 6 до 10 км от центров этих извержений погибло до 10 % лиственниц и елей (рис. 1).

Причины гибели растений в результате термического и механического воздействия очевидны и подробно не рассматриваются. Представляет интерес последовательность гибели растений вследствие химического воздействия извержений за пределами термического и при слабом воздействии механического фактора. Ягель и травянистая растительность погибли сразу в радиусе не менее 10 км от центров извержений. Затем последовательно, в течение 1-1.5 лет, погибли березы, лиственницы, ели. Кедрач сохранялся в угнетенном состоянии сравнительно долго, до 1.5-2 лет, вплоть до полного засыхания.

Химическое поражение, вызванное воздействием выделяющихся из рыхлых отложений вулканических газов, и эоловое, связанное с абразивным действием на растительность подвижных твердых частиц, медленно ослабевая, продолжалось не менее 10 лет.

Мощность взрывных (шлакопепловых) отложений у подножий Северных и Южного конусов БТТИ достигала 10-15 м и постепенно убывала, по мере удаления от центров извержений. Судя по сохранившимся остовам деревьев и кустарников, на расстоянии в 1.5 км от центров извержения мощность рыхлых вулканических БТТИ составляла до 5 м, на расстоянии 3 км, соответственно, до 2-3 м, на расстоянии 5 км - в пределах 1 м. Как отмечалось выше, мощность рыхлых отложений БТТИ сильно варьировалась в зависимости от рельефа и изменялась долгое время пос-

ле окончания извержения под действием склоновых процессов, эоловой и флювиогляциальной деятельности, что было отмечено также предыдущими исследователями (Быкасов, 1981).

На основании наблюдений в районе БТТИ можно считать критическими для выживания растений такие предельные мощности рыхлых вулканических отложений (пирокластики): трава и мох ~5 см, кустарники ~10 см, деревья ~20 см. Причем рыхлый изверженный материал Северного прорыва был явно вреднее для берез, лиственниц, елей и кустарников, по сравнению со сходными (по генетическому типу и гранулометрическому составу) вулканиками Южного прорыва.

Возрождение лиственницы в 0.7 - 2 км от Южного прорыва через несколько лет после окончания извержения наступало и в тех случаях, когда мощность свежего шлакопеплового чехла у подножия деревьев достигала 50-80 см. Возрождение и возобновление растительности было весьма неравномерным. Вблизи, в радиусе от 0.7 км до 2-3 км от Южного прорыва, по прошествии 5-7 лет после извержения появились молодые лиственницы, причем одна из них появилась у подножия конуса Южного прорыва, на поверхности остывших лавовых потоков, среди свежих обвалов осыпных отложений. Еще одна лиственница появилась через 25 лет после окончания извержения на перевале между Первым и Вторым конусами БТТИ (рис. 6). Многие засохшие, казавшиеся погибшими лиственницы дали побеги и возродились с использованием старых корневых систем (рис 7).

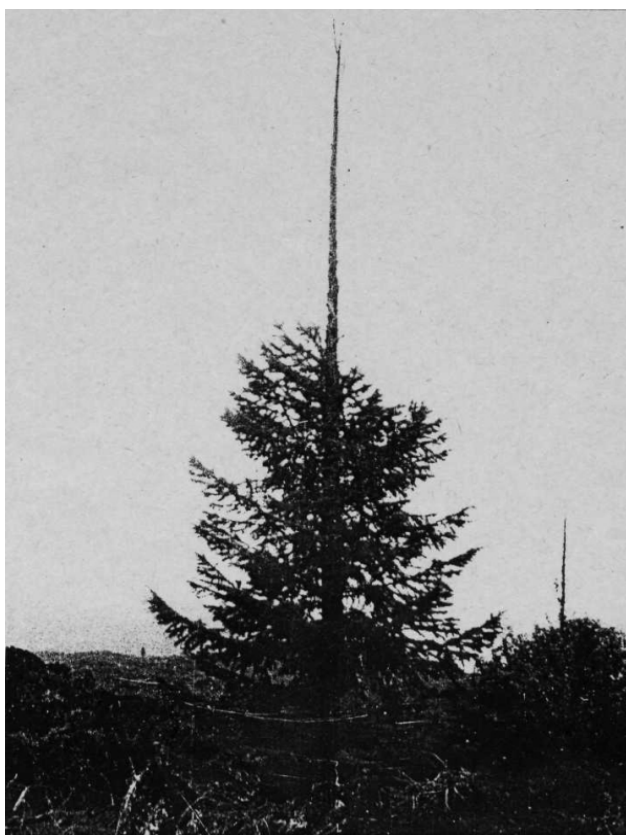
Появилась и новая растительность, которой в этой зоне до извержения не было. Это - прежде всего тополь, встречавшийся до извержения преимущественно у берегов озера Амрок и реки Озерной в 9 км к западу от Южного конуса. Появились и редкие здесь раньше две разновидности рябины. В местах скопления мелких фракций пепла уже через 4-5 лет после окончания извержения появилась редкая травянистая растительность, преимущественно иван-чай, осока и полярный мак. Причем, эта растительность встречалась и на присыпанных пеплом остывших лавовых потоках, извергнутых Южным прорывом. На потоках Северного прорыва редкие островки травянистой растительности появились лет на 10 позже.

В районе Северного прорыва возрождение растительности началось на расстоянии в 1.5 - 2 км от центров извержения в погибшем лиственничном лесу через 4-6 лет после извержения и было заметно, прежде всего, по высокой урожайности смородины и жимолости. Приблизительно в то же время у подножий конусов Северного прорыва, в местах отложения мелких фракций пепла, появилась пионерная травянистая





**Рис. 6.** Лиственница на перевале между Первым и Вторым конусами БТТИ, появившаяся через 25 лет после извержения.



**Рис. 7.** Лиственница в 400 м к северу от конуса Южного прорыва, возродившаяся через 7 лет после окончания БТТИ.

растительность. Причем первые поначалу небольшие группы осоки, полярного мака и иванчая становились ловушками-концентраторами мелких фракций пепла и, таким образом, создавали благоприятные условия для заселения следующих поколений таких же и появления новых видов растений. Молодые лиственницы появились на расстоянии в 2-3 км от центров извержений Северного прорыва лишь через 20 лет. Как исключение, одна лиственница высотой около 20 см появилась рядом с широким протяженным провалом-микрограбеном между Первым и Вторым конусами Северного прорыва через 20-25 лет (рис. 6). В это же время, через 20-25 лет в радиусе от 2.5 км и дальше от центров извержений Северного прорыва появляются одиночные кусты кедрача. Как и вблизи Южного прорыва, появляются скопления тополей, карликовых ив и древесной рябины.

Известно, что литологический фактор существенно влияет на растительность. Мелкие фракции пирокластики, обладая большей удельной поверхностью, быстрее осваиваются растительностью. Безусловно, геохимический и минеральный состав вулканитов, их микроструктура, газонасыщенность и другие параметры весьма существенно влияют на типы и темпы роста растительности и, вслед за ней, на животных. В нашем случае, вулканиты Северного и Южного про-

рывов различны по составу и ряду других параметров. Различен и набор растений в окрестностях этих центров извержений. Сравнение немного затруднено из-за разной высоты этих объектов.

Довольно скоро, уже через 2-3 года после окончания извержения, в районе Южного и Северного прорывов появились насекомые и мелкие насекомоядные птицы. Вскоре на кажущейся бесплодной шлаковой пустыне сначала в районе Южного прорыва, а затем и в окрестностях Северного прорыва появились мыши. Причем в 2003-2005 гг. мыши встречались на термальных полях в кратерах 1-го и 2-го конусов БТТИ. В сентябре 2004 г. на кромке кратера Первого конуса был встречен соболь, очевидно, привлеченный мышами. В этот же интервал времени у подножия Первого конуса Северного прорыва были замечены следы зайцев и даже лосей.

Лоси появились в районе БТТИ (и в районе Ключевской группы вулканов) недавно, около 15 лет назад и сейчас обживают эти новые для них территории. Появление этих зверей на свежих, пока почти не освоенных растительностью вулканитах, может быть, связано с активным образованием хлоридов натрия и калия, солёных на вкус и легко доступных. Очевидно, этим объясняется систематическое посещения лосями трудно проходимого потока (толщи потоков) Северного прорыва.

В 1995 г. в 1.5 км к югу от Северного прорыва в сухом лесу, вслед за мелкими насекомоядными птицами - представителями отряда воробьиных, обосновалась семья мелких соколов. В это же время были отмечены в районе БТТИ куропатки и глухари.

Резюмируя влияние извержений на биоту, можно отметить следующее.

1. Кроме термического и механического, для биоты губительно химическое воздействие, проявляющееся на гораздо большей площади в течение длительного (первые десятки лет) времени. Очевидно также, что это губительное воздействие значительно сильнее проявилось вблизи Северного прорыва, по сравнению с Южным прорывом. Мы пока не можем сказать, какие именно реагенты оказывают такое воздействие на растительность, и как они влияют на животных. Вряд ли это  $CO$  и  $CO_2$ , по-видимому, такое негативное воздействие производят некоторые соединения серы, хлора и фтора.

Воздействие этого фактора избирательно, подобно действию гербицидов и, понятно, присуще не только БТТИ. Так, в 1995 году на высотных отметках 500-700 м у фронта пирокластического потока, возникшего 31 год назад при катастрофическом извержении вулкана Шивелуч 12 ноября 1964 г., была обнаружена зона шириной

200-300 м, где среди упавших и засыпанных пеплом деревьев стояли отдельные лиственницы высотой до 20 м, погибшие и засохшие, очевидно, при извержении 1964 г., тогда как березы, ивы, ольховый стланник, возраст которых явно превышал 20 лет в пределах этой зоне были развиты нормально. За пределами лишенной молодых лиственниц зоны, на расстоянии больше 300 м от фронта пирокластического потока, зеленые лиственницы высотой 1-4 м встречались достаточно часто.

Бурное и сравнительно быстрое возобновление и возрождение растительности, особенно лиственницы, в районе Южного прорыва, связано, очевидно, не только с его более низкими высотными отметками, но и с химическим составом и микроструктурой вулканитов. В этих вулканитах, например, втрое больше содержание калия по сравнению с похожими вулканитами Северного прорыва. Шлаки Южного прорыва более пористые, часто встречаются разновидности с объемным весом меньше  $1 \text{ г/см}^3$ .

2. Появление влаголюбивых растений, главным образом, вблизи Южного и, в меньшей степени, вблизи Северного прорыва определенно связано с мелкопористыми шлаками и пеплами, способными удерживать воду. Возможно, в ближайшее время их тонкая микроструктура исчезнет в результате морозобойного выветривания, и влаголюбивые виды растений сменятся менее требовательными к условиям увлажнения видами.

3. Лоси и зайцы, посещающие конуса и шлако-лавовые потоки БТТИ, могут рассматриваться как своеобразные индикаторы того, что на этих вулканических объектах имеются особенно привлекательные для этих зверей съедобные растения, а также есть или были недавно какие-то легко растворимые минеральные образования типа хлоридов.

4. Формирование почвенно-пирокластического чехла продолжается в районе БТТИ, и мы можем видеть свидетельство этого явления в виде ограниченного появления растительности и животных.

**Термоаномалии** на моногенных конусах, пирокластических и лавовых потоках известны. Можно упомянуть Долину Десяти Тысяч Дымов, где после извержения кратера Новорупта (Катмай) в 1912 г. фумарольная деятельность на пирокластическом потоке, перекрывшем ледниковую долину, продолжалась 11 лет. Приблизительно столько же времени продолжалась активная фумарольная деятельность на пирокластическом потоке вулкана Безымянного, извергшегося в 1956 г. (Влодавец, 1984)

Лавовые потоки остывают значительно быстрее. Так, потоки извержения кратера Пийпа, извергшиеся в 1966 г., имевшие мощность около 10

м, остыли в течение первых лет, толща потоков Южного прорыва мощностью до 40 м остыла в течение 4-8 лет, глыбовые потоки извержения 1996 г. Карымского вулкана мощностью до 25 м практически остыли за 2 года.

На конусах моногенных вулканов высокие температуры могут сохраняться дольше. Так, на вершине побочного конуса Билюкай, самого большого из исторических извержений побочных прорывов Ключевского вулкана, температура в 100°C была замерена в 1970 г., через 32 года после окончания извержения. Тем не менее, длительное время сохраняющаяся повышенная до 300°C и немного выше температура прикратерных зон Первого, Второго и Третьего конусов Северного и сходной зоны конуса Южного прорыва необычна. Тем более удивительна как бы автономная термоаномалия на толще лавовых потоков Северного прорыва БТТИ в 3.5-4.5 км от их истоков, не имеющая видимой связи с ювенильными газами.

По общей мощности теплового потока обнаруженная аномалия сопоставима с геотермальными полями, образующимися на растущих горячих куполах вулканов Шивелуч и Безымянный. Вероятно, эта термоаномалия возникла вместе с толщей потоков в 1975 г. и была обнаружена в 2002 г. при космической съемке инфракрасной аппаратурой спутника.

В плане термоаномалия образует подкову, обращенную вершиной вниз по течению лавовых потоков и окаймляющую зону скалистых образований в центральной части пачки лавовых потоков Северного прорыва (рис. 3). На поверхности зоны и в ее бортах обнажается преимущественно рыхлый вулканогенный материал. Это принесенные потоками от подножия конусов в большом количестве песок, дресва, лапилли, шлак, вулканические бомбы, фрагменты лавовых потоков, средние, реже крупные вулканические бомбы, еще реже аккреционные шары. Очевидно, во время движения лавовых потоков этот материал скапливался в их периферических частях, и потоки двигали перед собой последовательно отлагающиеся валы рыхлого материала. После формирования пачки лавовых потоков и замедления их движения в связи с окончанием или ослаблением подпитки из лавовых бокк, движение продолжалось. Возможно, часть лавы внедрилась в нижнюю или среднюю часть зоны термоаномалии. Максимальная мощность до 50 м, может быть, немного больше, сохранилась именно в той подковообразной зоне, где существует термоаномалия.

По ситуации на сентябрь 2003-2004 гг. температура на поверхности аномалии достигала 300°C в обширной зоне не менее ~200 × 350 м. Участки горячих с поверхности пород не сплошные, об-

разуют продолговатые пятна размером в первые сотни кв. метров. Ближе к истокам потоков, на расстоянии около 2.5 км от истоков, имеются подобные зоны с температурой около 100°C. Выходы горячих газов, вторичные фумаролы на лавово-пирокластической пачке потоков Северного прорыва существовали в первые годы после окончания извержения и были хорошо видны по налету светлых минеральных новообразований и струйкам пара (газа). Площадь этих фумарольных полей и соответственно минеральных новообразований была сравнительно небольшой - в пределах 100 м<sup>2</sup> (для отдельного поля). По прошествии 10 или немного больше лет эти фумарольные поля и участки минеральных новообразований, в основном, исчезли. Видимо, эти образования состояли преимущественно из легко растворимых соединений типа хлоридов натрия и калия и были смыты атмосферными осадками. Ближайшие к истокам зоны потоков остыли в течение первых лет после окончания извержения. Средние и особенно конечные части толщи потоков остывали дольше, и сравнительно крупная, объемом более 1 млн. м<sup>3</sup>, термоаномалия существует в настоящее время и, вероятно, сохранится еще долго.

Вопрос об источнике тепла, обеспечивающем такой мощный и продолжительный вторичный разогрев, поднимался неоднократно. В свое время И. И. Гуценко (1965) предполагал существование некой горючей смеси, в которой одним из главных реагентов был хлор. Некоторый вклад тепла могла давать кристаллизация порообразующих минералов, тем более, что базальты Северного прорыва изначально были субафировые. Тепловой эффект раскристаллизации базальтового стекла мог составлять порядка 50 кал/г (Андреев, Ковалев, 1981). Б. И. Пийп (1956) полагал, что главный приток тепла вторичного разогрева на примере прорыва Юбилейного 1945 г., давало окисление Fe(II) в Fe(III). Это действительно возможно, тем более, что содержание железа в базальтах, в частности Северного прорыва, сравнительно большое, и Fe(II) в них преобладает.

Дальнейшие исследования, подкрепленные расчетами и экспериментальными данными (Трухин, Шувалов, 1984), показали, что вторичный разогрев в зоне аэрации обусловлен, главным образом, окислением водорода, генерируемого во внутренних высокотемпературных частях шлаковых конусов. Непременным участником процесса, согласно представлениям Ю.П. Трухина и Р.А. Шувалова, является железо. Кислород, образующийся при термической диссоциации воды, идет на окисление железа, а образующийся в избытке водород диффундирует к поверхности, где и происходит его окисление (горение), поддерживающее высокую температуру в зоне вторич-

ного разогрева. По представлениям других исследователей, (Горная энциклопедия, 1986), сценарий вторичного разогрева немного отличается от вышеприведенного. Железо, по этому сценарию, является, прежде всего, катализатором процесса и может как окисляться, так и восстанавливаться. А диссоциация водяного пара и последующее окисление водорода могут идти параллельно, длительно поддерживая высокую температуру, в соответствии с принципом Ле Шателье.

По аналогии со шлаковыми конусами, для которых и приведены расчеты Ю.П. Трухина и Р.А. Шувалова, можно предположить ряд условий, при которых возможен длительный вторичный разогрев. По модели Ю.П. Трухина и Р.А. Шувалова, это - открытая система, в нижних частях которой происходит подсос и диссоциация водяного пара с образованием водорода, в средней части, или в недрах системы - его окисление (сгорание), а в верхних частях - отвод (выделение) вновь образовавшегося водяного пара и его конденсация. Таким образом, работает естественный тепловой аккумулятор, в недрах которого длительное время (десятки лет) сохраняется сравнительно высокая температура (рис. 8). Попытаемся перечислить условия, при которых система способна работать.

1. Необходимо наличие достаточно мощной, порядка 40 м или более зоны рыхлых изначально

горячих  $\sim 800^{\circ}\text{C}$  пород с достаточным ( $\sim 10\%$ ) содержанием железа.

2. Необходим водный источник, из которого постоянно поступала бы вода (водяной пар) в количестве, необходимом для длительного (десятки лет) протекания реакций выделения и окисления водорода.

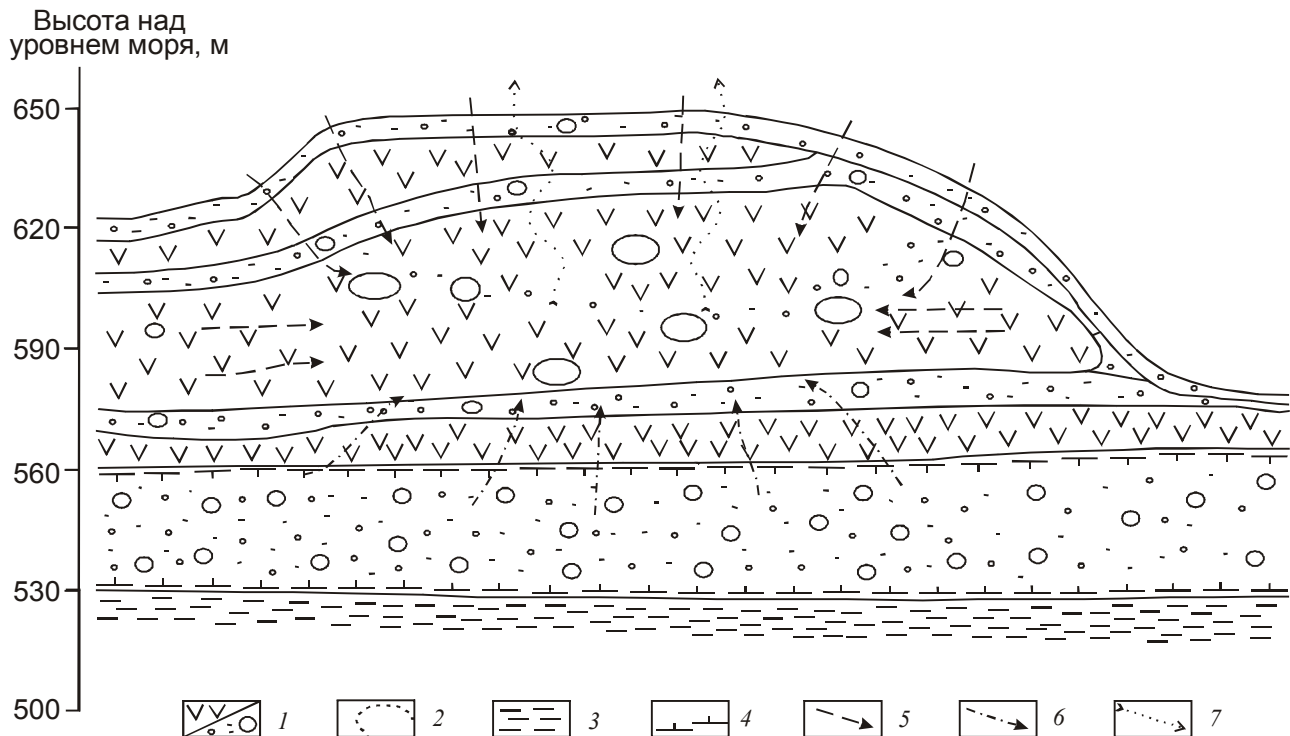
3. Необходимо существование зоны аэрации - умеренно проницаемой зоны, по которой происходил бы подсос водяного пара для диссоциации воды и одновременно отвод окисленного водорода, то есть такого же водяного пара.

4. Теплоотвод не должен быть слишком большим. Оптимальным условиям соответствует чехол из рыхлых, слабо спекшихся, умеренно влажных вулканогенных пород.

Таким образом, можно довольно уверенно утверждать, что общий объем прогретой зоны достаточно велик и может достигать первых млн. куб. метров. Температура в недрах этой зоны, видимо, составляет  $600-800^{\circ}\text{C}$ . В подошве зоны существует водонасыщенный слой. Возможно, это остатки тающей криолитозоны.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Отметим ряд фактов и возможных перспектив изменений некоторых параметров окружающей среды в районе БТТИ. Это, прежде всего, ак-



**Рис. 8.** Схематическая модель долгоживущей тепловой аномалии на шлако-лаваовой толще Второго конуса БТТИ в 4 км от истока. 1 - лаво-пирокластическая толща, 2 - граница зоны вторичного разогрева, 3 - водоупорные породы, 4 - граница криолитозоны, 5 - атмосферные осадки, 6 - талые воды с криолитозоны, 7 - водород.

тивное и широкомасштабное, на площади порядка 1000 км<sup>2</sup>, продолжающееся влияния БТТИ на окружающую среду, затрагивающее все рассмотренные в работе (и некоторые пока не рассмотренные) аспекты. Каковы же перспективы рассмотренных параметров окружающей среды?

Преобразование рельефа будет продолжаться в двух основных направлениях. Во-первых, будет продолжаться выколачивание склонов и заполнение подвижным рыхлым материалом отрицательных форм рельефа. Во-вторых, будет продолжаться уплотнение рыхлого изверженного материала, сопровождаемое неравномерным понижением гипсометрических отметок (в местах большей мощности рыхлых отложений понижения, соответственно, больше). В связи с этим относительная высота скал-останцов в прикратерных зонах и на шлако-лавовых потоках будет увеличиваться.

Дальнейшее захоронение снежников и наращивание криолитозоны без новых извержений в районе БТТИ мало вероятно. Вероятно, будет продолжаться частичное таяние криолитозоны и, соответственно, образование просадок к югу от центров извержения Северного прорыва в интервале высотных отметок 700-400 м.

Поверхностные проявления объемной активности радона будут локализоваться и уменьшаться. На некоторой глубине, в первые сотни метров, возможно образование эманулирующих коллекторов с преобладанием дочерних продуктов распада радиоактивных элементов. При образовании трещин возможно образование локализованных выходов газа с заметной величиной OARn.

Термоаномалии, очевидно, сохранятся еще достаточно долго. Вероятно, они будут как бы самоизолироваться в результате образования корочки или зоны спекшихся пород типа агглютинатов и туфобрекчий. В случаях образования водоупорных ниш вблизи термальных зон не исключено образование термальных водных источников.

Несомненно, будет продолжаться дальнейшее развитие биоты и распространение ее до прежних высотных отметок.

Таким образом, шлако-лавовая пустыня района БТТИ – пока аналог ядерной зимы, с течением времени может превратиться в зооботанический парк с горячими водными источниками.

Ориентировочное время такого превращения – первые сотни лет. Главные необходимые условия – отсутствие подобных БТТИ природных катастроф и возможного неграмотного техногенного вмешательства.

#### Список литературы

- Абрамовский В.П., Ионов В.А., Назаров И.М. и др.* Газы и аэрозольные продукты выброса Северного прорыва Толбачинского извержения // Вулканология и сейсмология. 1979. № 3. С. 3-8.
- Адамчук Ю.В., Фирстов П.П.* Радиоактивные эмиссии в фумарольных газах ряда действующих вулканов Камчатки. М. ЦНИИАтоминформ, 1986. 27 с.
- Андреев В.И.* Мерзлые толщи в районе Толбачинского извержения // Вопросы географии Камчатки. 1982. № 8. С. 98-99.
- Андреев В.И.* Распределение урана в вулканических продуктах Южного прорыва Большого трещинного Толбачинского извержения // Вулканология и сейсмология. 1979. № 6. С. 54-62.
- Андреев В.И., Карнов Г.А., Пузанков Ю.М. и др.* Распределение радиоактивных элементов в породах некоторых действующих вулканов Камчатки // Вулканология и сейсмология. 2001. № 1. С 39-49.
- Андреев В.И., Ковалев Г.Н.* Кристаллизация базальтовых стекол (пирокластические материалы Толбачинского извержения 1975-1976 гг.) // Вулканология и сейсмология 1981. № 1. С 37-51.
- Быкасов В.Е.* Шлаково-пепловый чехол извержения 1975 г. и поражение растительности Толбачинского дола // Вулканология и сейсмология. 1981. №1. С 76-78.
- Влодавец В.И.* Справочник по вулканологии. М.: Наука, 1984. 337 с.
- Горная энциклопедия. М.: Энциклопедия, 1986. Т 2. 560 с.
- Гущенко И.И.* Пеплы Северной Камчатки и условия их образования М.: Наука, 1965. 144 с.
- Макдоналд Г.* Вулканы. М.: Мир, 1975. 432 с.
- Манько Ю.И., Сидельников А.Н.* Влияние вулканизма на растительность. Владивосток: ДВО АН СССР, 1989. 162 с.
- Мархинин Е.К.* Вулканы и жизнь М.: Мысль, 1980. 194 с.
- Пийп Б.И.* Ключевская сопка и её извержения в 1944-45 гг. и в прошлом // Тр. Лаб. вулканол.. 1956. Вып. 11. 308 с.
- Реймерс Н. Ф.* Природопользование. М.: Мысль, 1990. 637 с.
- Титаева Н.А., Ермаков В.А., Зозуля Т.А., Ставров О.Д.* Геохимические особенности продуктов трещинного Толбачинского извержения 1975-76 гг. // Докл. АН СССР . 1977. Т 235. №3. С. 676 – 679.

Трухин Ю.П., Шувалов Р.А. Окислительно–восстановительные реакции, процессы газогенерации и вторичный разогрев на шлаковых конусах // Большое трещинное Толбачинское извержение (1975 – 1976 гг., Камчатка). М.: Наука, 1984. С. 356 – 373.

Федотов С.А., Чирков А.М., Разина А.А. Северный прорыв // Большое трещинное Толбачинское извержение (1975 – 1976 гг., Камчатка). М.: Наука, 1984. С. 11 – 75.  
Физическая карта Камчатской области. Климатическая карта ГУГК, 1975.

## IMPACT OF THE BIG FISSURE TOLBACHIK ERUPTION (BFTE) IN 1975-1976 ON THE ENVIRONMENT DURING 30 YEARS

V. I. Andreev<sup>1</sup>, A. V. Andreev<sup>2</sup>, T. Yu. Samkova<sup>1</sup>, O. V. Sobovelskaya<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Volcanology and Seismology FED RAS, 683006, Petropavlovsk-Kamchatsky, Piip boulevard, 9;  
phone (41522) 5-93-87, fax (41522) 5-94-05; e-mail: via@kscnet.ru*

<sup>2</sup>*Kamchatka State Technical University*

<sup>3</sup>*Kamchatka State University named after Vitus Bering*

The Big fissure Tolbachik eruption (BFTE) was one of the most significant events of the 20<sup>th</sup> century, the erupted products total volume was 2.2 km<sup>3</sup> and the impact on the environment was significant.

This paper presents some results of different environmental parameters measurements during the 1975-1976 Tolbachik volcano eruption and till the year 2005. The studied area includes eruptive centers and the nearby territory within a radius of 10 km. The main investigated parameters were: the relief, the deformations, the radioactivity, the deep-frozen soil areas; the biota, the temperature anomalies.