

ФУМАРОЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ ВУЛКАНА АВАЧИНСКИЙ В 2004-2005 гг. (ДИСТАНЦИОННЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ)

В. А. Дрознин, И. К. Дубровская

*Институт вулканологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, 683006,
e-mail: dva@kscnet.ru*

Термоаномалии вулкана Авачинский

С момента образования института вулканологии в 1962 году, за вулканом Авачинский ведутся систематические наблюдения. В межпароксизмальную стадию деятельности вулкана до извержения 13 января 1991 г. в кратере диаметром 400-450 м и на вершине молодого конуса естественные выходы тепла были представлены прогретыми участками, парящими площадками, фумаролами. На дне кратера в местах выходов вулканических газов, закартированных в 1964 г., температура пород превышала 700°C. Мощность тепловой разгрузки вулкана оценивалась в 80 МВт. Наиболее крупными объектами тепловой разгрузки были фумарола Уступ, фумаролы Серного Гребня, Малая Серная, фумаролы на дне, фумаролы Восточные и участки парящего грунта в северо-восточной части Молодого конуса.

Извержение 1991 г. не было предсказано: краткосрочные предвестниковые аномалии не были обнаружены ни в каких геофизических полях. По данным инфракрасной аэро-съёмки (выполнялась время от времени начиная с 1978 г.) в 1988 г. (за три года до извержения) на дне кратера было зафиксировано возникновение новой термоаномалии, причем именно в том месте, в котором позднее и находился исток лавы. За исключением этого момента структура термоаномалий была стабильна - на внутренних и внешних склонах кратера до извержения 1991 г. она не менялась и соответствовала данным наземных измерений, выполненных в 1964 г. Не изменилось распределение термоаномалий и после извержения на тех участках, которые не были перекрыты лавой. Существенным является также тот факт, что активность фумарол, в частности наиболее мощной фумаролы Уступ, по данным облёта 14 января 1991 г., сохранялась и в ходе извержения, когда кратер начал заполняться лавой.

Современная структура термоаномалий вулкана Авачинский представлена на рисунке 1. Пунктиром отмечена кромка старого кратера. По съёмке 2005 г. в структуре ИК-излучения поверхности (чем темнее, тем теплее) дешифрируются аномалии, соответствующие фумарольным выходам: фумаролам **Западная** и **Группа Восточные**; на лавовом поле, имеющем температуру выше фоновой для данной высоты, видны кольцевые и радиальные аномалии, соответствующие глубоким трещинам. Фумаролы **Группа Восточные** проектируются на расположение бывшей фумаролы **Восточная**; фумаролы **Уступ** и расположенная рядом **Малая серная** перекрыты лавой и место выхода сместилось на запад, т.е. к фумароле **Западная**. Прогретые площадки на внешней стороне кратера (северо- и юго- западные) и не перекрытые лавой на внутренней его кромке (северная сторона) сохранили свою конфигурацию (на рис. 1 зоны оконтурены сплошной линией). Фумарольные выходы (1, 2) на продолжении трещины на внешнем склоне образовались в 1991 г., их конфигурация и интенсивность изменилась с образованием трещины. В период 1991-2001 гг. на западном гребне функционировала фумарола (*), которая была определена как режимная. Трещина (4) существовала раньше. Линейная аномалия (3) отмечена впервые.

Мы выделяем аномалии трех типов, соответствующие: 1) фумарольным выходам (наиболее интенсивные), 2) радиальным и концентрическим трещинам на лавовом поле и 3) типу «парящий грунт» на внутренних и внешних склонах кратера. Контуров последних полностью соответствуют контурам этих аномалий до извержения 1991 г. Какого-либо пропаривания лавовым телом пород кратера не наблюдается. По линии контакта лавы с внутренней стенкой кратера термоаномалии существуют там же, где они были до извержения. Можно говорить лишь об усилении интенсивности выноса тепла (и серы) в

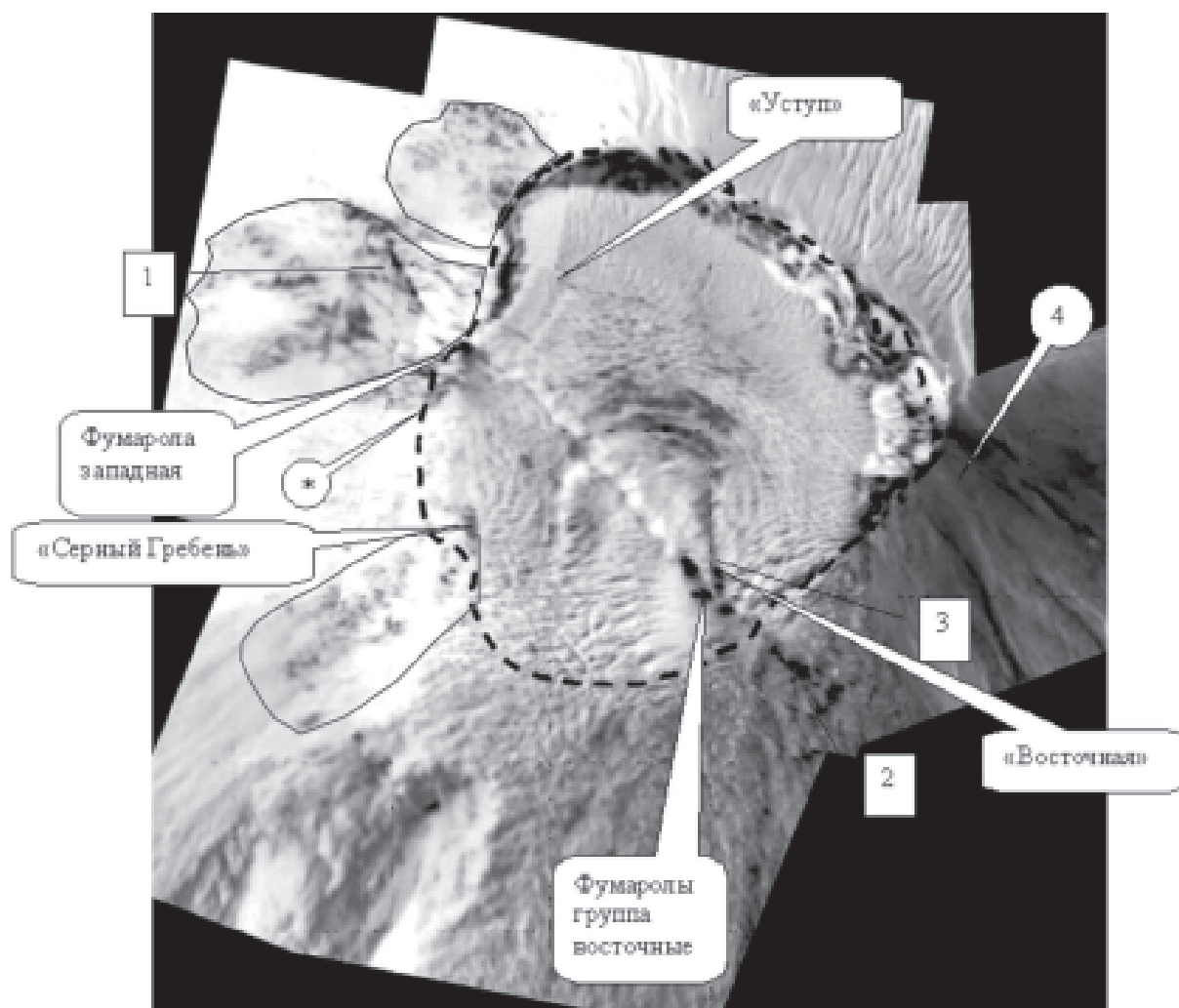


Рис. 1. Структура ИК-излучения поверхности (обозначения в тексте).

западной части конуса, именно в районе бывшей термальной площадки, примыкавшей к фумароле **Уступ**. Поверхность лавового поля, в основном, холодная, хотя, естественно, температура её выше фоновой для данной высоты. Повышенная температура в радиальных и концентрических глубоких трещинах лавового поля свидетельствует о выделении тепла при остывании лавового тела. Характерно, что вынос тепла не сопровождается паром, как на парящих грунтах; трещины сухие. Трещина 2001 г. на инфракрасном снимке отображается как холодная. Однако, визуально в центральной воронке, которая проектируется на исток лавы 1991 г., отмечается наличие пара. Видимо, этот пар оказывает экранирующее действие на значение регистрируемой радиационной температуры. Распределение фумарольных выходов изменилось. Основные фумаролы были перекрыты лавой. По съёмке 2005 г. фиксируется появление ранее отсутствовавшей термоаномалии, которая проектируется на место бывшей режимной фумаролы **Серного гребня**. Вместо фумарол **Уступ** и **Восточные** действуют фумаролы **Западная** и **Группа Восточные**. Их расположение именно вблизи кромки старого кратера указывает на то, что они скорее унаследованы, чем образованы вновь, причём **Группа Восточные** проектируются непосредственно на места выхода бывших фумарол. Возможно, их питание, как и термопроявлений типа “парящий грунт”, осуществляется той же конвекционной системой, что и до извержения 1991 г.

Параметры системы видеонаблюдений

Наличие мощных фумарольных выходов на вулкане Авачинский (рис. 2) предопределяет организацию системы видеонаблюдений за их динамикой. Очевидна полезность таких наблюдений для обнаружения момента начала извержения. В тоже время мы не

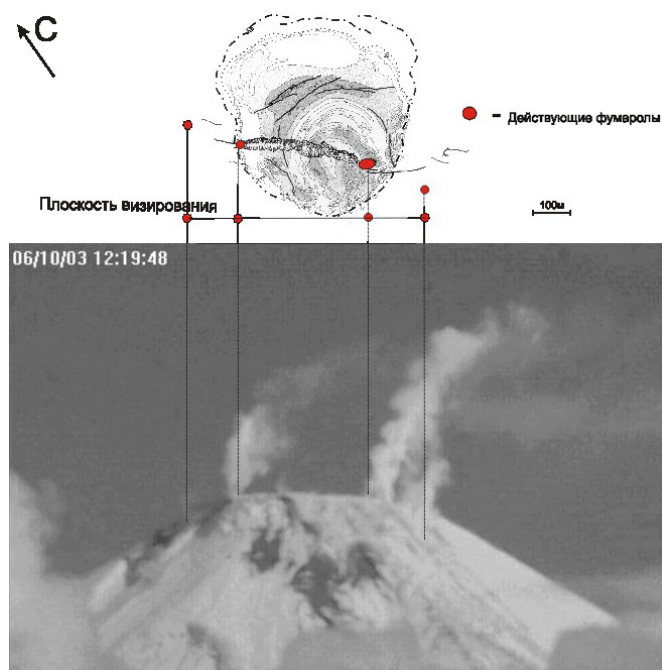


Рис. 2. Проекция шлейфов фумарол вулкана Авачинский на плоскость визирования.

300, в отличие от систем видеонаблюдений за активностью вулканов (Ключевской с 09.10.2000; Шивелуч с 17.05.2002; Безымянный с 20.08.2003), организованных КФ ГС РАН на базе цифровых видеокамер. Для получения необходимого разрешения вместо штатного объектива используется объектив Гелиос – 40 (фокусное расстояние 85 мм). Вебкамера установлена в ИВиС ДВО РАН, т.е. на расстоянии 30 км от кратера вулкана, азимут 35° . Угол зрения (по горизонтали) составляет 4.56° (захват 2390 м); разрешающая способность: 1 пиксел = 3.74 м (матрица 640×480).

Регистрируются не истинные размеры шлейфа, а их проекция на плоскость визирования. Очевидно, что при этом измеряемые размеры существенно зависят от направления ветра. Отметим, что в нашем случае (малый угол наклона снимка 1:10 и незначительные, меньше 1.5 км шлейфы) регистрируемая вертикальная составляющая практически совпадает с истинной при любом направлении ветра, а малый угол захвата позволяет пренебречь изменениями масштаба при смещении центральной точки снимка относительно кромки кратера.

Для записи изображений используется программа VintaSoftWebCam, позволяющая записывать изображение вулкана в реальном времени со значительно большей дискретностью, чем штатная. Выбрана дискретность 10 минут. На изображении фиксируется компьютерное время записи с точностью 1 сек, оно же является составной частью имени файла, имеющего расширение jpg. Регулярность наличия изображений в базе данных определяется погодными условиями – видимостью кратера.



Рис. 3. Проекция шлейфов фумарол вулкана Авачинский при слабом ветре.

располагаем примерами предсказания извержений каких либо вулканов на основе видеонаблюдений за динамикой фумарольной активности.

Форма и размеры шлейфа в устойчивой атмосфере соответствуют модели «термика», их зависимость от тепловой мощности источника описана в работе [2]. В «термике», в общем случае, можно выделить начальный субвертикальный участок, плавно переходящий в субгоризонтальный (рис. 3).

Видимые размеры паровых шлейфов, в отличие от пепловых, как отмечено в работе [3], существенно зависят от влажности воздуха.

В неустойчивой турбулентной атмосфере форма шлейфа характеризует локальную структуру потока. Ярким примером такого типа шлейфов являются шлейфы, протягивающиеся вниз по склону вулкана (рис. 4).

Для наблюдений за вулканом Авачинский применена вебкамера Wcam

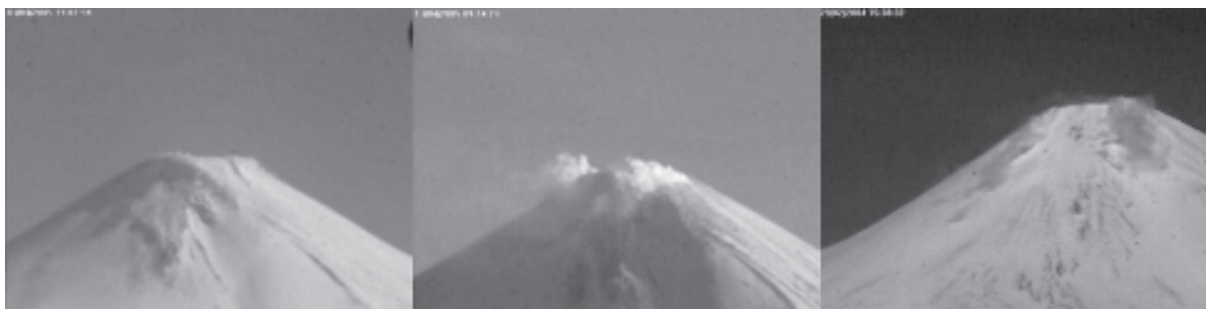


Рис. 4. Форма шлейфа характеризует локальную структуру потока воздуха, обтекающего конус вулкана.

Для характеристики атмосферы используется база данных о высотных разрезах (2 измерения в сутки) по метеостанции Петропавловск-Камчатский: <http://raob.fsl.noaa.gov/Welcome.cgi>

По снимкам определяется длина средней линии проекции шлейфа, ее горизонтальная и вертикальная проекции для двух фумарольных шлейфов вулкана Авачинский.

Поиск связи размеров шлейфа с состоянием атмосферы являлся основной задачей анализа. Анализ заключался в поисках зависимости размеров шлейфа от значений метеопараметров на уровне кратера:

- атмосферного давления, в предположении зависимости расхода газа от давления на устье фумаролы и для определения барометрического коэффициента;
- температуры воздуха, как параметра характеризующего процесс теплообмена;
- плотности воздуха (рассчитываемой по температуре и давлению) в предположении зависимости высоты шлейфа от «силы Архимеда»;
- скорости ветра, в предположении наличия эффекта механического «вытягивания» шлейфа и ускорения процесса массообмена;
- недосыщенности воздуха как параметра, характеризующего процесс влагообмена и отвечающего за область визуализации шлейфа. Недосыщенность рассчитывается по температуре воздуха T_v и точки росы T_p по приближенной формуле:

$$E_w - E = 6.1 \times \left(10^{\frac{9.8T_v}{273.66 + T_v}} - 10^{\frac{9.8T_p}{273.66 + T_p}} \right).$$

Результаты

Как видно из таблицы 1 кратер вулкана бывает виден в среднем раз в три дня, хотя максимальный период отсутствия видимости может составлять и месяц.

По данным наблюдений непосредственно на кратере, нет оснований предполагать, что активность фумарол имеет пульсирующий характер. По-видимому, изменение размеров шлейфов как в течение дня, так и сезона, следует связывать с состоянием атмосферы. На такую зависимость указывает то, что шлейфы становятся существенно большими, когда в районе кратера формируется кучевая облачность, а также отмечаемое многими наблюдателями синхронное увеличение размеров шлейфов вулканов Авачинский, Мутновский и Горелый. Рисунок 5 подтверждает, что большая длина шлейфа наблюдается при большой влажности, т.е. при малых значениях недосыщенности.

Предлагается зависимость длины шлейфа от недосыщенности рассматривать как пример часто наблюдаемых «естественных» («график возможностей») - или природных зависимостей, в отличие от детерминированных, сопровождаемых математическим описанием. Подбор регрессионной (или корреляционной) зависимости в таких случаях в принципе возможен, но не соответствует физической сущности. Математически можно выразить только изменение предельного значения параметра (в нашем случае длины шлейфа) в зависимости от аргумента (недосыщенности), в то время как реально это предельное значение может не достигаться. В частности, хотя большая длина шлейфа

Таблица 1. Общие характеристики дискретности наблюдений

месяц	Кол-во дней наблюдений	Мах разрыв (дней)	месяц	Кол-во дней наблюдений	Мах разрыв (дней)
январь.04	15	6	январь.05	12	6
февраль.04	13	8	февраль.05	8	7
март.04	16	7	март.05	14	4
апрель.04	12	5	апрель.05	9	9
май.04	8	7	май.05	12	9
июнь.04	7	7	июнь.05	7	7
июль.04	0	0	июль.05	11	4
август.04	8	7	август.05	8	12
сентябрь.04	7	7	сентябрь.05	13	9
октябрь.04	14	5	октябрь.05	8	7
ноябрь.04	13	7	ноябрь.05	15	9
декабрь.04	8	10	декабрь.05		
за год	121	10	за год	117	12

выраженной сезонности, в тоже время недосыщенность, которая при одинаковой влажности существенно увеличивается с температурой, имеет сезонный тренд (рис. 6); соответственно наблюдается сезонное изменение длины шлейфов: в среднем шлейфы зимой выше, а летом могут и не наблюдаться.

Наличие двух крупных фумарол на вулкане Авачинский предопределило рассмотрение во времени соотношения размеров их шлейфов (рис. 7). Логично полагать, что изменение соотношения длин шлейфов фумарол однозначно должно свидетельствовать об изменении тепловой мощности (состояния) хотя бы одной из них.

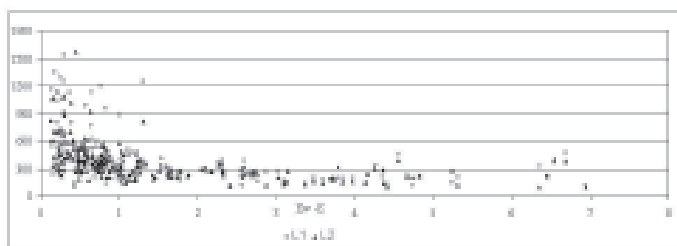


Рис. 5.

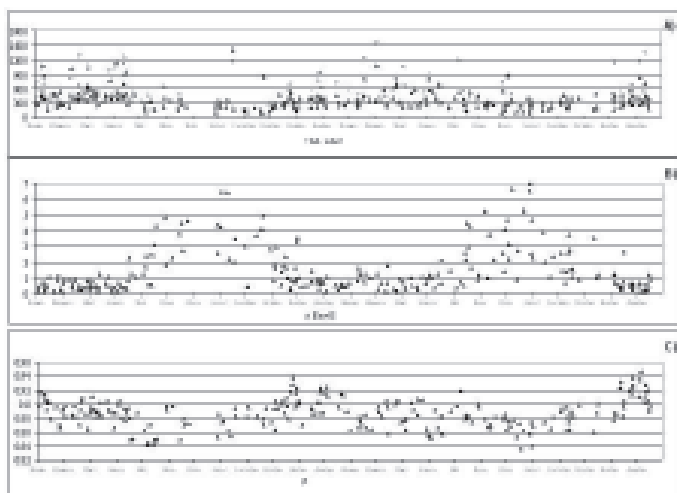


Рис. 6.

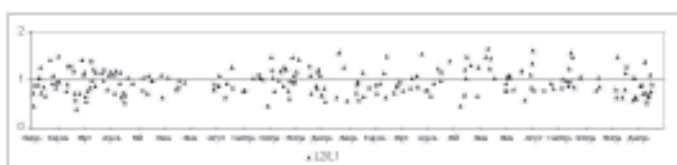


Рис. 7.

наблюдается при малых значениях недосыщенности, обратное утверждение несправедливо: малой недосыщенности соответствует любое значение длины шлейфа.

В целом, высотные разрезы метеопараметров соответствуют модели стандартной атмосферы: градиент температуры в тропосфере для стандартной атмосферы равен $6,50^{\circ}\text{C}/\text{км}$; фактически средний градиент температуры для условий г. Петропавловска составил: январь – февраль - $6,2^{\circ}\text{C}/\text{км}$; июнь – август - $5,3^{\circ}\text{C}/\text{км}$. Для объяснения существования высоких суб-вертикальных шлейфов оказалось полезным рассмотрение «градиентных» зависимостей, в частности, от соотношения недосыщенности на различных высотах.

Относительная влажность не имеет явно выраженной сезонности, в тоже время недосыщенность, которая при одинаковой влажности существенно увеличивается с температурой, имеет сезонный тренд (рис. 6); соответственно наблюдается сезонное изменение длины шлейфов: в среднем шлейфы зимой выше, а летом могут и не наблюдаться.

Заключение

Безусловно, дистанционные режимные наблюдения за фумарольной активностью вулкана, извержение которого может представлять реальную угрозу близ расположенному городу, имеют значение в социальном и психологическом плане. Однако возможность обнаружения предвестника по фумарольной активности не очевидна как в техническом, так и в теоретическом отношении. Под техническими трудностями имеется в виду отсутствие непрерывного потока метеоданных (параметров атмосферы) именно в зоне формирования фумарольных шлейфов. В теоретическом отно-

Рис. 5. Зависимость длины шлейфа L_1 -восточная, L_2 -западная (м) от недосыщенности $E_w - E$ ($\text{г}/\text{м}^3$).

Рис. 6. Вариации длины шлейфов (А), недосыщенности (В) и плотности воздуха (С) во времени.

Рис. 7. Вариации соотношения длин шлейфов фумарол Восточной и Западной вулкана Авачинский во времени.

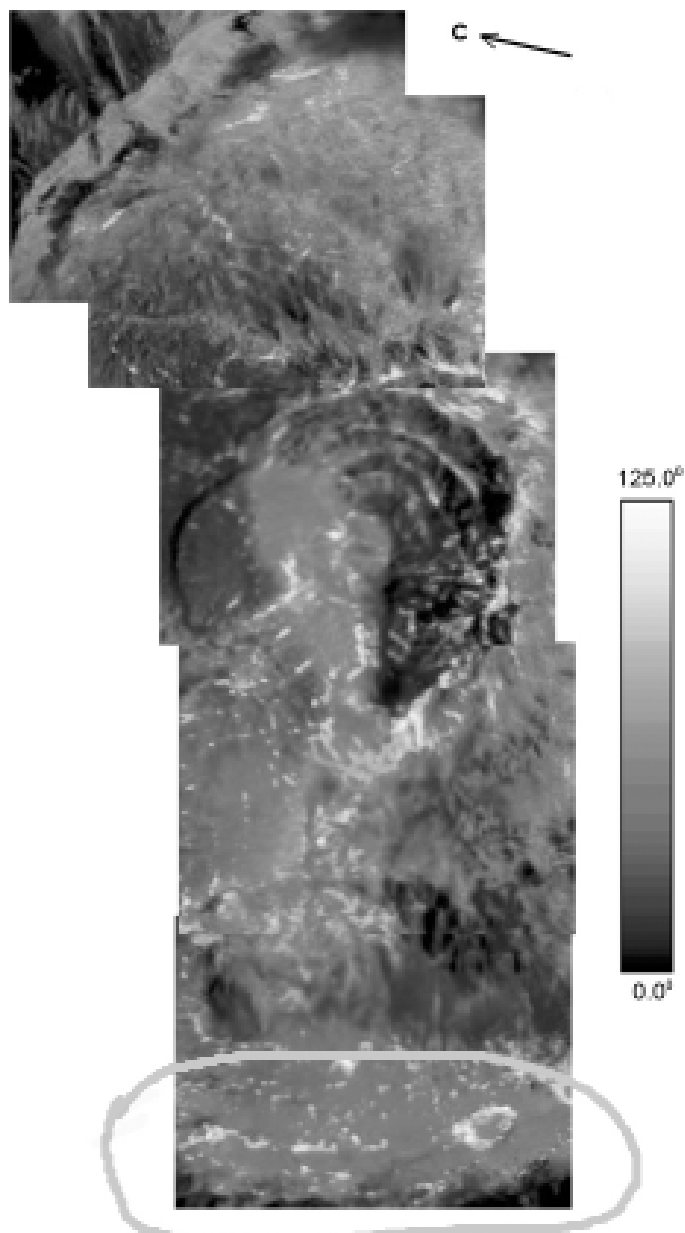


Рис. 8. Структура ИК-излучения поверхности кратера вулкана Безымянный. Контуром обведена область инерциальной термоаномалии.

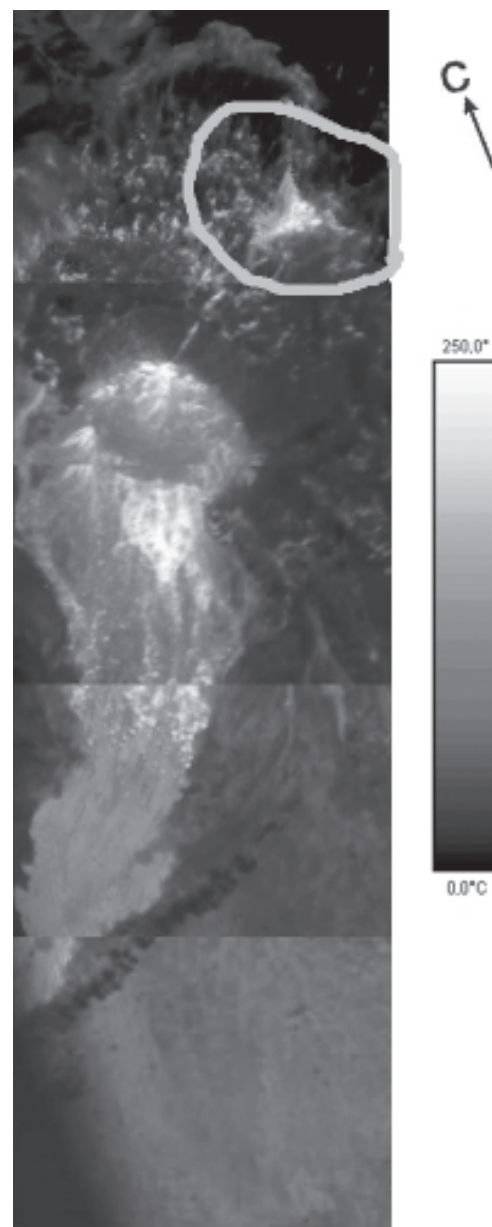


Рис. 9. Структура ИК-излучения поверхности купола вулкана Шивелуч. Контуром обведена область инерциальной термоаномалии.

шении, на основе анализа структуры и динамики тепловой разгрузки вулкана Авачинский, можно полагать, что она, в основном (за исключением теплоотдачи с поверхности лавового плато), определяется той же конвекционной системой, которая существовала в конусе вулкана до извержения 1991 г. Наши наблюдения заставляют пересмотреть (уточнить) представления о природе термоаномалий на действующих вулканах. Ранее естественным положением считалось, что фумарольная деятельность характеризует активность вулкана в межпароксизмальную стадию. Именно на основе этого положения производятся сравнительные энергетические оценки в активную и межпароксизмальную стадию развития вулкана; осуществляются режимные наблюдения за температурой и химическим составом фумарол. Анализ данных по инфракрасной съёмке вулкана Авачинский позволяет полагать, что парогазовая и магматическая активность могут быть не связаны между собой. Парогазовая активность в большинстве случаев, повидимому, имеет остаточную, инерционную природу. Подобные инерционные термоаномалии обнаружены, например, на вулканах Безымянный и Шивелуч (рис. 8, 9) при первых ИК-съёмках (в 1980 и 1991 гг.,

соответственно) и дешиф-рируются на съёмке 2005 г., параллельно с тепловой активностью, обусловленной деятель-ностью экстрезивных куполов.

Авторы выражают благодарность Michael S. Ramsey (Department of Geology and Planetary Science, University of Pittsburgh) за предоставление материалов инфракрасной съёмки; фирме «Растр», в лице Дубровского В.Н., за техническую поддержку видеонаблюдений.

Работа была начата при финансовой поддержке ФЦП Интеграция (проект № Ч0103) и проекта ДВО РАН К2003-Р3-Гра-СО8-ИВиС.

Список литературы

1. *Иванов В.В.* Об облаках парогазовых извержений и фумарол. Вулканология и сейсмология. 1988. № 4. С. 37-50.
2. *Федотов С.А.* Оценки выноса тепла и пирокластики вулканическими извержениями и фумаролами по высоте их струй и облаков. Вулканология и сейсмология. 1982. № 4. С. 3-27
3. *Федотов С.А., Балеста С.Т., Дрознин В.А., Масуренков Ю.П., Сугрбов В.М.* О возможности использования тепла магматического очага Авачинского вулкана. Бюлл. вулк. станций. N. 53, 1977. с. 27-34.

AVACHINSKY VOLCANO FUMAROLIC ACTIVITY IN 2004-2005 (REMOTE SENSING MEASUREMENTS)

V. A. Droznin, I. K. Dubrovskaya

*Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky, 683006,
e-mail: n_gorbach@mail.ru*

The Kamchatka Branch of Geophysical Service RAS (KBGS RAS) organized a system of visual observation using digital video cameras to observe Klyuchevskoy (from 09.10.2000), Shiveluch (from 17.05.2002), and Bezymianny (from 20.08.2003) volcanoes. We used the Wcam 300 to observe the activity of Avachinsky volcano. The Wcam 300 is equipped with a *Helios-40* lens (the focal distance is 85mm) instead of a regular lens to obtain the required definition. The Webcam 300 is placed at the IVS, so it is over 30 km from the Avachinsky volcano crater. The azimuth is 35°, the visual angle (across) is 4.56° (the coverage is 2390 m), and the resolving capacity is 1 pixel = 3.74 m (the matrix is 640 480). We did not use the regular program for image recording but a special one VintaSoftWebCam, installed by Dubrovsky N.V. This program allowed the recording of volcano images in real time with a much greater chosen discontinuity of 10 minutes. The write time to within 1 minute is fixed on the image. The fixed time is a component of the filename in jpg format. The quantity of images in the database depends on weather conditions, in other words on the crater visibility. In 2004 the crater was seen 121 days per year; in 2005 it was seen 117 day per year. We didn't observe the crater for a maximum of 30 days in July 2004.