

УДК 551.21

РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА ТЕПЛОВОЙ АНОМАЛИИ ПРОДУКТОВ ИЗВЕРЖЕНИЯ ВУЛКАНА БЕЗЫМЯННЫЙ 6–8 ОКТЯБРЯ 1995 г. ПО ДАННЫМ СПЕКТРОЗОНАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ ИСЗ NOAA

© 2001 г. А. И. Абдурахманов**, Р. Ф. Булгаков*, В. Б. Гурьянов*

*Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск, 693002

**Научно-исследовательский геотехнологический Центр ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, 683006

Поступила в редакцию 30.06.2000 г.

Проведен расчетный анализ тепловой аномалии, регистрируемой в спектрзональной информации радиометра высокого разрешения (AVHRR) ИСЗ NOAA, после извержения вулкана Безымянный 6 октября 1995 г. Получена зависимость температурных и площадных характеристик тепловых аномалий продуктов извержения. На основе анализа характера извержений современного эруптивного цикла сделана оценка температуры разогретой части кратера, температуры и площади сошедших пирокластических потоков.

Введение. В последние годы развитие локальных приемных станций упростило доступ к информации с искусственных спутников Земли (ИСЗ), что позволило шире использовать ее для контроля вулканов, расположенных в отдаленных и труднодоступных районах.

Анализ данных дистанционного зондирования, полученных радиометром высокого разрешения (AVHRR) ИСЗ NOAA, позволяет получить не только оперативную качественную информацию о факте извержения вулкана, но и количественные характеристики температуры продуктов извержения и их масштаба.

Здесь приводятся температурные и масштабные характеристики извержения вулкана Безымянный в октябре 1995 г. Данные получены в результате анализа спектрзональных изображений ИСЗ NOAA, принятых станцией “Сканэкс” производства МНИИТЦ “Скан”. Станция установлена на Сахалине, в ИМГиГ ДВО РАН.

Извержение вулкана Безымянный 6–8 октября 1995 г. О характере и продуктах извержения вулкана Безымянный 6–8 октября 1995 г. известно следующее [10, 12]:

1. Извержение сопровождалось выбросом газопепловой колонны на высоту около 5–10 км. Визуальные наблюдения проводились из поселка Ключи, расположенного в 40 км севернее вулкана, облака пепла над вулканом идентифицировались в телеметрии AVHRR ИСЗ NOAA.

2. По результатам анализа характера сейсмической активности вулкана, наблюдениям на изображениях, принятых с ИСЗ NOAA горячей точки после сноса пеплового облака на месте вулкана Безымянный, и, учитывая опыт наблюдения за предыдущими извержениями, было предположено, что 8 октября 1995 г. извержение прекратилось.

3. Детальных вулканологических работ ни в ходе извержения, ни после его окончания не проводилось, и многие вопросы остаются неосвещенными. Количественный анализ телеметрии AVHRR ИСЗ NOAA позволяет дополнить имеющуюся информацию об извержении.

На спектрзональных космических снимках тепловая аномалия вулкана Безымянный после извержения сохранялась с 8 октября по 17 декабря 1995 г., до даты новой активизации fumarольной деятельности вулкана, отмеченной приземными наблюдениями [13]. Тепловая аномалия имела вытянутую форму с явным максимумом (рис. 1, 2). Уменьшение значений тепловой аномалии

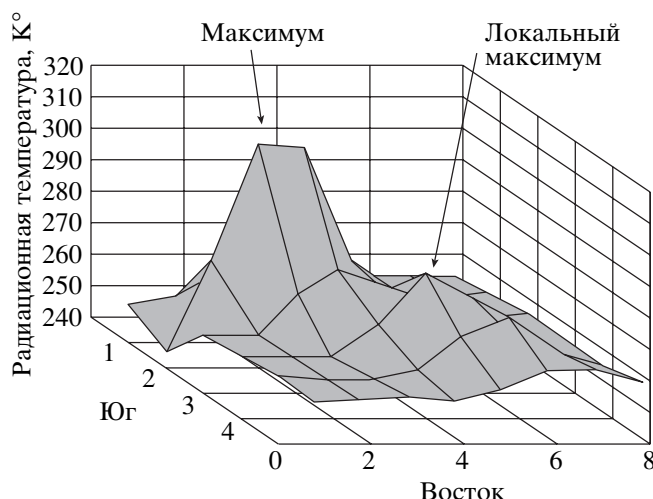


Рис. 1. Трехмерная диаграмма тепловой аномалии вулкана Безымянный 8.10.1995 г. Радиационная температура дана в шкале Кельвина, расстояние – в пикселах.

малии со временем наблюдалось на пирокластическом потоке (рис. 3).

Отсутствие приземной информации об извержении 6–8 октября 1995 г. (температуре кратерной зоны, типе и температуре сошедших потоков), необходимой для калибровки данных дистанционного зондирования, потребовало обзора материалов о предыдущих извержениях для интерпретации спутниковой информации.

О характере извержений вулкана Безымянный. Предыдущие извержения вулкана Безымянный обобщены в работах [1–7; 9–11]. После начала нового эруптивного цикла в октябре 1955 г., известного катастрофическим направленным взрывом 30 марта 1956 г., сформировалась современная кратерная зона вулкана Безымянный.

Кратер вулкана Безымянный представляет собой воронку диаметром более 1.5 км и глубиной около 700 м, открытую в юго-восточном направлении. В центральной части кратера имеется экструзивный купол Новый диаметром 600–650 м и высотой 320 м. В период современного эруптивного цикла происходит дальнейший рост купола.

Извержения вулкана Безымянный, связанные с ростом экструзивного купола, характеризуются мощной эксплозивно-пепловой фазой, затем следует фаза образования пирокластических потоков и заканчивается извержение скатыванием раскаленных и холодных каменных лавин, а также экструзией жестких блоков и выжиманием пластичной лавы и лавовых потоков небольшой мощности.

Газово-пепловые облака поднимаются на высоту 5–10 км, пирокластические потоки достигают длины 8–13 км со средней шириной потоков 300–400 м, мощностью до 5–8 м, объемом 0.006–0.02 км³, лавовые потоки 250–500 м в 1980 г. до 1.5 км. Направление выбросов газопеплового материала и пирокластических потоков – юго-восточное.

Слабая сейсмическая активность вулкана заметно усиливается перед извержением. Как правило, сильные эксплозии и появление пирокластических потоков предваряются серией неглубоких землетрясений. Экструзивная и эффузивная деятельность сопровождается спазматическим вулканическим дрожанием.

Петрографический состав продуктов извержения вулкана Безымянный – дупироксеновые андезиты, иногда с роговой обманкой, придающие отложениям светло-серый цвет. Обломки и глыбы ювенильных андезитов пирокластических потоков 1985 г. представлены черными, темно- и светло-зелеными, темно- и светло-серыми роговообманковыми пироксеновыми андезитами [2].

Температура на куполе, определенная оптическим пирометром [11] в ночное время, во время извержения вулкана 30 мая–1 июня 1962 г. непосредственно после обнаружения сильных или умеренных

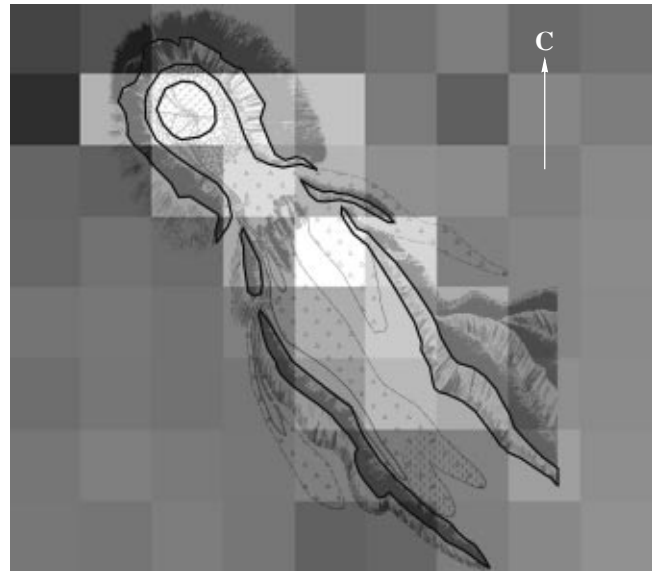


Рис. 2. Наложение и совмещение тепловой аномалии влк. Безымянный 08.10.1995 г. по телеметрии AVHRR (третий канал) ИСЗ NOAA и схемы расположения экструзивного купола и агломератовых (пирокластических) потоков после извержения 1969 г. по [7]. Тепловая аномалия в градациях серого цвета, повышение температуры от темного к светлому.

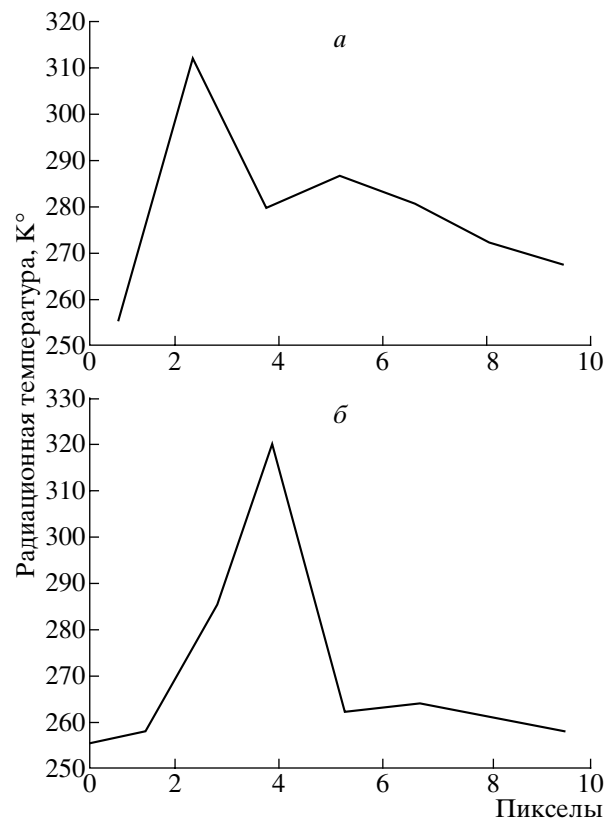


Рис. 3. Профили тепловых аномалий после извержения вулкана Безымянный 6.10.1995 г.: а – 08.10.1995 г.; б – 10.12.1995 г.

лавины, составляла, соответственно, 1000, 1100–800, 950°C. В первом случае заметно дольше продолжалось свечение лавы.

При сравнении результатов извержения в июле–августе и сентябре 1964 г. В.А. Ермаков и др. [5] отмечают, что в первом случае материал раскаленных лавин возник путем эксплозии, во втором – в основном, в результате разрушения купола. Судя по свечению лавы, они полагают, что температура эксплозивных раскаленных лавин в июле–августе и обвально раскаленных лавин в сентябре 1964 г. была близкой и равнялась 700–800°C. Позже температура отложений сентябрьских лавин остыла до 200°C (не указано, через какое время после схода лавин). Лавины состояли преимущественно из обломков серого андезита размером от нескольких сантиметров до 1 м в поперечнике, погруженных в мелкую серую пыль.

Температура обломочного материала с вновь выжатого купола Наутилус в 1969 г. составляла 500–600°C. Температура газов достигала 470–500°C, а крупных фумарол – 135–150°C.

Температура агломератового (пирокластического) потока, образовавшегося 29 мая 1962 г., изменялась довольно быстро. Средняя величина суточного температурного спада в различных точках колебалась от 5 до 13°C. Температура в центральной части пирокластического потока под крупными камнями 1 июня 1962 г. была 350°C, а 2 июня – 310°C. В других местах: 30, 31 мая от 250 до 240°C; 1, 2, 5 июня – 230–220, 180–170 до 160°C [11].

Отложениям пирокластических потоков извержения 1977 г., как отмечает Г.Е. Богоявленская и др. [4], свойственны все особенности таких образований, наблюдавшихся на вулканах ранее. Через неделю после извержения температура на поверхности потока достигала 300°C. Повсеместно обломки, валуны, глыбы слегка окатаны, погружены в светло-серый пылеватый материал заполнителя.

Кульминационная стадия извержения 1985 г. началась 30 июня и закончилась 1 июля. В 3 ч 20 мин широким фронтом скатился светящийся пирокластический поток, температура материала которого, по данным М.А. Алидибирова и др. [1, 2], по-видимому, достигала 600–700°C. Утром почти на всей площади пирокластических отложений наблюдалось сильное парение и постоянные фреатические взрывы. 13–14 июня 1985 г. – через две недели после извержения вулкана – пепловый материал на поверхности отложений пирокластического потока, по наблюдениям И.А. Меняйлова и др. [9], был достаточно нагрет и в некоторых местах покрыт тонкой плотной коркой. Температура отложений на глубине 0.5–1.5 м была 510°C, температура на выходе сухих газов несколько выше – 538°C. В августе авторы еще раз посетили вулкан. Фумарольная деятельность на отложени-

ях пирокластических потоков была крайне слабой. На отложениях пирокластических потоков была крайне слабой. На отложениях пирокластического потока I типа, сложенного в основном материалом разрушенной части купола и его агломератовой мантии, были обнаружены несколько фумарол с температурой газов 280–300°C.

На ювенильных пирокластических потоках температура в момент извержения достигала 700°C, спустя 2–3 недели после извержения при мощности потока 2–3 м – более 300°C, при том отмечался специфический ювенильный состав фумарольных газов [1, 2].

Извержение 1995 г. по результатам анализа сейсмической активности и визуальным наблюдениям за газово-пепловой колонной было сходно с извержениями за период времени с 1961 по 1985 г.; соответственно, можно ожидать, что сходны и внешние характеристики извержения – рост экстремального купола, сход пирокластических потоков, и, может быть, излияние лавового потока.

Анализ спектральной информации ИСЗ NOAA. Т.В. Кондранин и Е.В. Овчинникова [8] путем численного моделирования определили минимальный размер очага возгорания типа лесного пожара, различимого в ИК диапазоне при использовании приемника, соответствующего радиометру высокого разрешения AVHRR спутника NOAA. При моделировании оценены влияния вариаций температуры нижнего слоя атмосферы и температуры очага возгорания на возможность обнаружения лесного пожара. Показано, что возможность обнаружения очага пожара не зависит от вариаций температуры нижнего слоя атмосферы в пределах 285–303 К и температуры очага возгорания в интервале от 600 до 1200 К, минимальный линейный размер обнаружения тепловой аномалии лежит в пределах 10–20 м [8].

При анализе тепловой аномалии вулкана Безымянный на спектральной фотографии AVHRR применили идею Т.В. Кондранина и Е.В. Овчинниковой для определения температурных и площадных характеристик разогретого материала, выброшенного в результате извержения. Соотношение, предложенное Т.В. Кондраниним и Е.В. Овчинниковой для насыщения элемента изображения (пиксела), переписали в виде:

$$\frac{C_1 v^3 P}{\exp\left(\frac{C_2 v}{T_{vol}}\right) - 1} = \frac{C_1 v^3}{\exp\left(\frac{C_2 v}{T_{pic}}\right) - 1} - \frac{C_1 v^3}{\exp\left(\frac{C_2 v}{T_{fon}}\right) - 1},$$

где P – площадь доли пиксела, занятая разогретой частью вулкана или продуктами извержения; T_{vol} – радиационная температура разогретой части вулкана или выброшенных продуктов извержения; T_{pic} – значение радиационной температуры пиксела, содержащего тепловую аномалию; T_{fon} – радиационная температура фона окружаю-

щих тепловую аномалию пикселей; ν – волновое число спектрального канала; C_1, C_2 – постоянные для формулы Планка, рекомендованные в NOAA POD GUIDE – June 1995.

По полученному значению радиационной температуры, истинную температуру оценили по формуле:

$$T = \frac{T_p}{\sqrt[4]{\alpha}},$$

где T_p – радиационная температура тела; T – истинная температура; $\alpha = E_T/\epsilon_T$ – степень черноты тела при температуре T , E_T – излучательная способность тела, ϵ_T – излучательная способность абсолютно черного тела.

Результаты вычислений для максимума тепловой аномалии и локального максимума вулкана Безымянный (рис. 1) на 08.10.1995 г. представлены на графиках (рис. 4, 5).

На рис. 4 представлен график зависимости температуры (шкала Кельвина) максимума тепловой аномалии (рис. 1, 2), соответствующей кратеру вулкана Безымянный от доли площади пиксела, которую мог бы занимать кратер. Учитывая, что пиксел радиометра AVHRR в центре полосы сканирования имеет размеры $1.1 \times 1.1 \text{ км}^2$, можно считать, что график составлен для площади от 121000 до 1200 м². Диапазон значений степени черноты был взят от 1 (абсолютно черное тело) до 0.3.

На рис. 5 представлен аналогичный график зависимости для локального максимума (рис. 1) тепловой аномалии, соответствующей сошедшему с купола вулкана пирокластическому потоку. Остывание сошедшего потока до окружающей температуры длилось два месяца – октябрь и ноябрь (рис. 3).

Обсуждение результатов. Используя информацию о характере предыдущих извержений вулкана Безымянный, по графикам (рис. 4, 5) можно оценить температурные и площадные характеристики извержения октября 1995 г. Приняв площадь разогретого участка в кратере размером около 0.002 части пиксела (приблизительно 25000 м²), по аналогии с площадью разогрева во время предыдущих извержений, можно оценить температуру в кратере от 738 К (464°C) до 838 К (564°C) в зависимости от степени черноты разогретой области (рис. 4). Степень черноты кратерной зоны, учитывая преобладающий светло-серый цвет, определяющий петрографическим составом, принимали от 0.5 до 0.3, соответственно. Температура локального максимума, который был вызван частью сошедшего пирокластического потока, площадью около 0.05 км², в зависимости от степени черноты материала может быть от 440 К (166°C) до 460 К (186°C) соответственно (рис. 5).

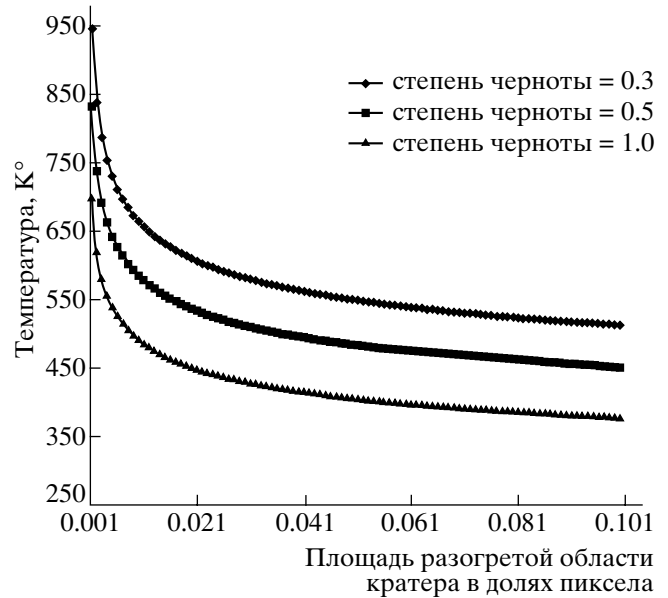


Рис. 4. Зависимость температуры разогретой части кратера от площади разогретой зоны, 8.10.1995 г.

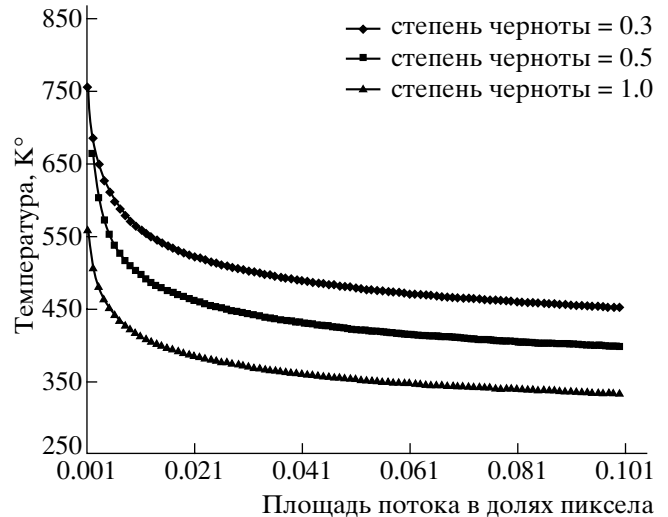


Рис. 5. Зависимость температуры сошедшего потока от его площади, 8.10.1995 г.

Результаты расчета температур тепловой аномалии правдоподобны при использовании априорных предположений о масштабах возможного извержения. К сожалению, отсутствие детальных приземных данных об извержении октября 1995 г. позволяет определить только зависимость площади выброшенного разогретого материала от его температуры. Уточнить количественно каждый параметр зависимости можно, зная другой. Но, безусловно, в практике контроля состояния вулканов информация о количественных характеристиках, полученных данным способом, будет полезной.

Авторы выражают искреннюю благодарность Сахалинскому областному комитету охраны природных ресурсов за предоставленную возможность использовать в работе программный продукт ERDAS IMACINE 8.2., В.Н. Соловьеву за обсуждение работы и полезные советы. Компьютерная графика и оформление А.С. Конюхова.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 96-05-66338.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алидибиров М.А., Белоусов А.Б., Кравченко Н.М. Фаза направленного взрыва вулкана Безымянный в 1985 г. // Вулканология и сейсмология. 1987. № 5. С. 81–89.
2. Алидибиров М.А., Богоявленская Г.Е., Кирсанов И.Т. и др. Извержение вулкана Безымянный в 1985 г. // Вулканология и сейсмология. 1988. № 6. С. 311.
3. Богоявленская Г.Е., Кирсанов И.Т. Двадцать пять лет вулканической активности вулкана Безымянный // Вулканология и сейсмология. 1981. № 2. С. 3–13.
4. Богоявленская Г.Е., Иванов Б.В., Будников В.А., Андреев В.Н. Извержение вулкана Безымянного в 1977 г. // Бюлл. вулканол. станций. 1979. № 57. С. 16–25.
5. Ермаков В.А., Меняйлов И.А., Никитина Л.П. Состояние действующих вулканов Северной Камчатки в 1964 г. // Бюлл. вулканол. станций. 1966. № 40. С. 8–13.
6. Иванов Б.В., Чирков А.М., Дубик Ю.М., Хренов А.П., Двигало В.Н., Разина А.А., Степанов В.В., Чубарова О.С. Состояние действующих вулканов Камчатки и Курильских островов в 1982 г. // Вулканология и сейсмология. 1984. № 4. С. 104–110.
7. Кирсанов И.Т., Студеникин Б.Ф., Рожков А.М., Чирков А.М., Кирсанова Т.П., Марков И.А. Новый этап извержения вулкана Безымянного // Бюлл. вулканол. станций. 1971. № 47. С. 8–15.
8. Кондранин Т.В., Овчинникова Е.В. Моделирование эффективности алгоритмов распознавания из космоса тепловой аномалии типа лесного пожара // Исследование Земли из космоса. 1995. № 6. С. 51–57.
9. Меняйлов И.А., Никитина Л.П., Шапарь В.Н. Химический состав и изотопные отношения газов пирокластических потоков извержения вулкана Безымянный в июле 1985 г. // Вулканология и сейсмология. 1987. № 4. С. 40–49.
10. Озеров А.Ю., Демянчук Ю.В., Сторчеус А.В., Карпов Г.А. Извержение вулкана Безымянный 6–8 октября 1995 г. // Вулканология и сейсмология. 1996. № 3. С. 107–110.
11. Сирин А.Н. Извержение вулкана Безымянный в мае–июне 1962 г. // Бюлл. вулканол. станций. 1969. № 38. С. 45–61.
12. Bulletin of the global volcanism network. 1995. September. V. 20. № 9. P. 7–8.
13. Bulletin of the global volcanism network. 1996. December. V. 21. № 12. P. 5.

An Analysis of a Thermal Anomaly Due to Eruption Products of Bezemyannyi Volcano Discharged October 6–8 1995 Based on NOAA Satellite Spectrozonol Information

A. I. Abdurakhmanov**, R. F. Bulgakov*, V. B. Guryanov*

*Institute of Marine Geology and Geophysics, Far East Division, Russian Academy of Sciences, Yuzhno-Sakhalinsk, 693002, Russia

**Geotechnological Research Center, Far East Division, Russian Academy of Sciences, Petropavlovsk-Kamchatskii, 683006, Russia

A computational analysis has been carried out for a thermal anomaly discernible in the spectrozonol information recorded by a NOAA Satellite high resolution radiometer (AVHRR) following the October 6, 1995 eruption of Bezemyannyi Volcano. Temperature and areal characteristics of the thermal anomalies due to eruption products were obtained. An analysis of the character of eruptions occurring during the recent eruptive cycle allowed an estimate of temperature in the heated part of the crater, and the temperature and area of the pyroclastic flows discharged.