



УДК 551.21

В. А. Дроздин, И. К. Дубровская, С. А. Чирков

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН,  
г. Петропавловск-Камчатский e-mail: dva@emsd.ru*

## Термоизображения района трещинного Толбачинского извержения им. 50-летия ИВиС

Представлены термоизображения, полученные с помощью тепловизора высокого разрешения ThermaCAM P640 в авиаоблётах 29 ноября 2012 г., 13 декабря 2012 г., 27 декабря 2012 г., 15 февраля 2013 г. и наземных поездках в район трещинного Толбачинского извержения (ТТИ) им. 50-летия ИВиС.

### Введение

Тепловизор высокого разрешения ThermaCAM P640 эксплуатируется в ИВиС ДВО РАН с 2008 г. В основном он использовался для наземных работ, а в случае аэросъёмочных работ для выполнения отдельных маршрутов. Тепловизионное исследование начавшегося извержения потребовало выполнения плановой съёмки большой площади, более 100 км<sup>2</sup>. Технические возможности аппаратуры в связи с ограниченным финансированием, существенно сказались на эффективности термосъёмки:

- вместо рекомендуемой дальности менее 800 м, для более полного охвата площади распространения лавовых потоков съёмка выполнялась с высоты 4000 м, т. е. при превышении 2500 м разрешение составляет 1,75 м/пиксел;
- тепловизор не предназначен для работы при температуре воздуха ниже -15° С, изображение «замораживается» (появляются чёрные пятна; изображение двоится);
- измеряемые температуры были в пределах (-30 ÷ +1200)° С, что требовало регистрации во всех трёх диапазонах прибора: (-30 ÷ +120)° С; (0 ÷ 500)° С; (300 ÷ 1300)° С, т. е. трёхкратного выполнения одного и того же снимка. Наиболее эффектен был диапазон (0 ÷ 500)° С;
- на информативность термоизображений существенно влияет наличие облачности на маршруте.

В первом полёте, в связи с отсутствием предварительной информации об извержении, регистрация осуществлялась с синхронным фотосопровождением, при этом средняя скважность снимков составляла 40 секунд. Впоследствии, при плановой съёмке, регистрация радиационного потока производилась с помощью нетбука, модернизированного В. Н. Дубровским, с частотой 3 кадра в секунду.

Термограммы несмотря на существенно меньшее разрешение, чем фотографии, имеют большую контрастность и полезны для выделения объектов и различных поверхностей. При облёте района отмечались: парогазовые шлейфы, лавовые потоки, истоки лавы, фреатические события на теле и фронте лавового потока.

Зарегистрирована максимальная (радиационная) температура лавовых фонтанов ~647° С. Она существенно ниже определяемой визуально и, исходя из опыта, должна быть выше 1000 – 1100° С. Поглощение регистрируемого сигнала обусловлено взвесью пепла в облачности, которая видна на обычной фотографии (рис. 1).

### Начало извержения

Механика извержения контролируется процессом декомпрессии газонасыщенного магматического расплава. Сброс избыточного давления зависит от сопротивления путей газа и расплава на выходе, геометрия которых образуется самопроизвольно и зачастую сопровождается взрывами. Второй механизм декомпрессии – газлифт [3], выход подземного материала на дневную поверхность.

При изучении извержения БТТИ 1975–1976 гг. отмечено образование 8 новых прорывов. Образование третьего конуса началось с фонтанирования отдельных пепло-газовых струй. По-видимому, также начинались извержения первого и второго конуса. Струи указывали на линейную подводящую зону, но предваряющих трещин на земной поверхности не было зафиксировано. В то время как перед началом четвёртого конуса (Светлячок) за сутки значительная площадь была покрыта сетью открытых трещин. На отдельных местах этих трещин наблюдались эксплозивно – эффузивные истоки.

Как правило, при побочных извержениях наблюдается рост конуса за счёт эксплозий и образование лавового потока. Такая картина указывает на то, что при подъёме магмы происходит частичная сепарация газа. Газосодержание (весовая доля свободного газа) в конусе существенно больше, чем в лаве, хотя исходная магма одна; как, например, при работе второго конуса БТТИ [2]. В то время как извержения первого и третьего конусов БТТИ были эксплозивными.

Сепарация газа наблюдается и перед извержением в виде образования взрывных воронок, деятельность которых наблюдалась сотрудниками ИВиС ДВО РАН, например, при извержениях Ключевской



Рис. 1. Фото и термоизображение извержения конуса центра имени С. И. Набоко 29 ноября 2012 г.

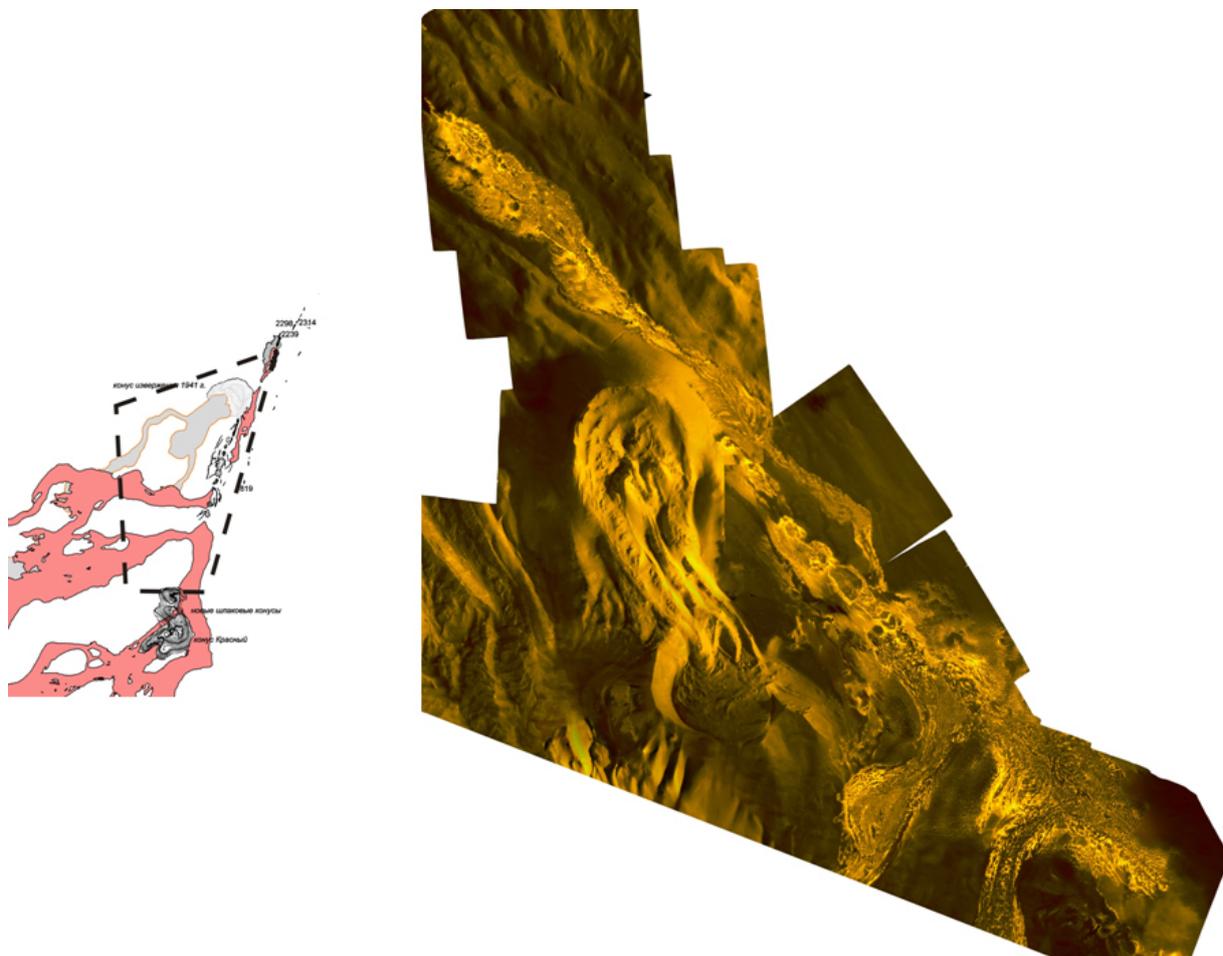


Рис. 2. Монтаж термоизображений верхнего участка трещинной области с конусом 1941 г.; слева фрагмент схемы прорыва, выполненный В. Н. Двигало

(прорыв имени Пийпа) 1966 г. [4], Алаида (побочный прорыв Олимпийский) 1972 г. [1], Тятя 1973 г. [5].

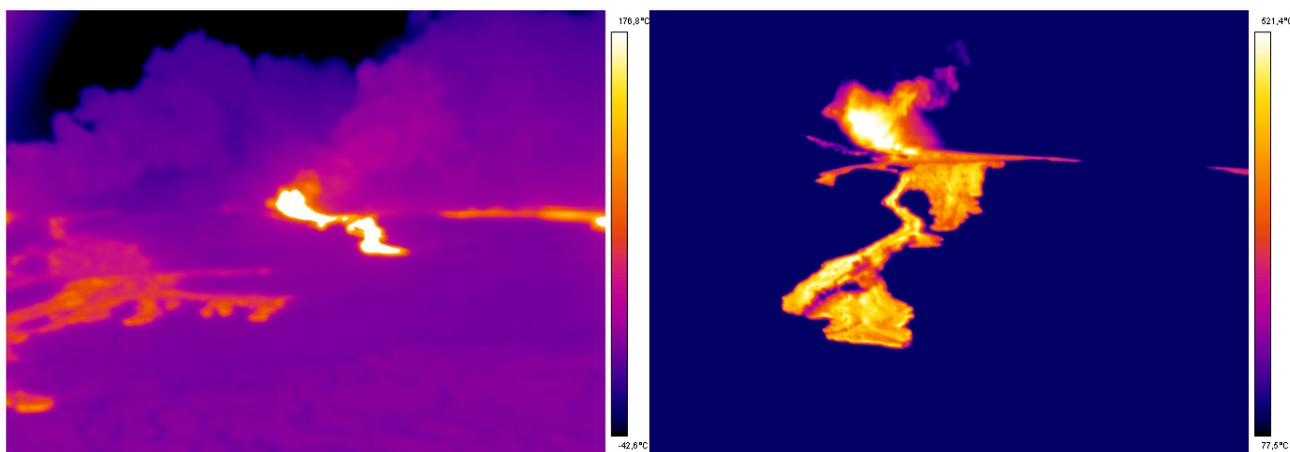
#### Схема района извержения

На рис. 2 приведён монтаж термоизображений верхнего участка трещинной области с конусом 1941 г. и его местоположение на схеме района извержения ТТИ им. 50-летия ИВиС, выполненной

В. Н. Двигало (настоящий сборник). Это место названо эруптивным центром имени И. А. Меняйлова и включает истоки двух верхних потоков, формирующих Водопадное лавовое поле. 7 января 2013 г. на эруптивных валах (рис. 3) зафиксирована температура до  $170^{\circ}\text{C}$ . Верхняя трещинная зона на юге выражена разломом на конусе Красный, зафиксированном при облёте 29 ноября 2012 г. Разлом был



**Рис. 3.** Эруптивная трещина после эксплозий (фото Ю. Демянчука) и термограмма эруптивного рва 7 января 2013 г.



**Рис. 4.** Эксплозивная активность и лавовый поток из конуса Красный 29 ноября 2012 г. Термограммы с разным диапазоном съёмки; слева диапазон от  $-30$  до  $120$  °C, справа от  $300$  до  $1200$  °C.

активен; над ним поднимались раскалённые пепло-газовые струи и из него изливался лавовый поток (рис. 4). Длина потока из конуса Красный на это время была  $\sim 4$  км, т. е. в 2 раза меньше потока по Водопадному, что позволяет оценить время начала центра имени С. И. Набоко. Он начал работать спустя сутки после начала извержения. Температура потока  $360$  °C. К концу дня 30 ноября 2012 г. деятельность центра имени И. А. Меняйлова прекратилась, а активность центра имени С. И. Набоко стала перемещаться к северу по разломной зоне и к 13 декабря 2012 г. в ней сформировались три новых конуса и мощная лавовая река (рис. 5).

#### Лавовые поля

По результатам съёмки 13 декабря 2012 г. созданы монтажи термоизображений с сохранением радиационных значений: лавовых потоков Водопадного лавового поля (рис. 6, 7) и лавовых потоков Ленинградского лавового поля (рис. 8).

Исторически сложилось, что при исследовании механики лав подразумевается, что лава не является ньютоновской жидкостью, но практически никак не учитываются термодинамические свойства лав; прежде всего зависимость вязкости лавы от температуры. Температура лав достаточно быстро падает от ликвидуса до солидуса, поэтому лава движется



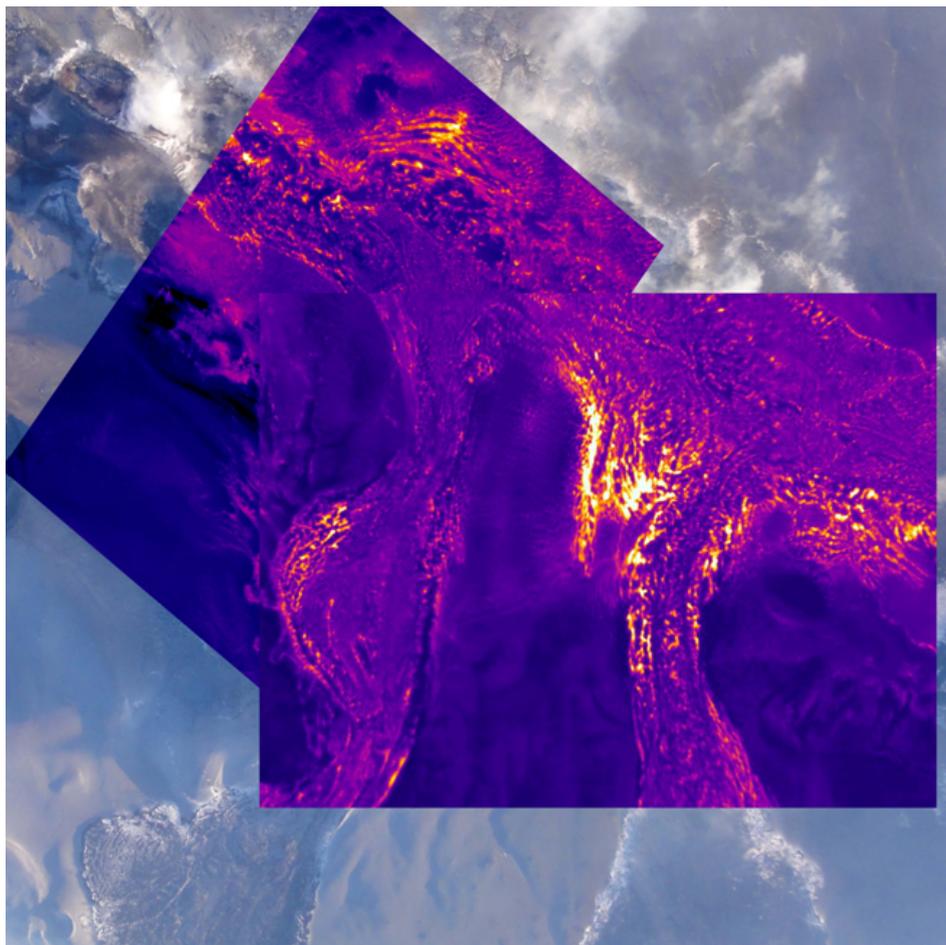


Рис. 7. Истоки потоков Водопадного поля.

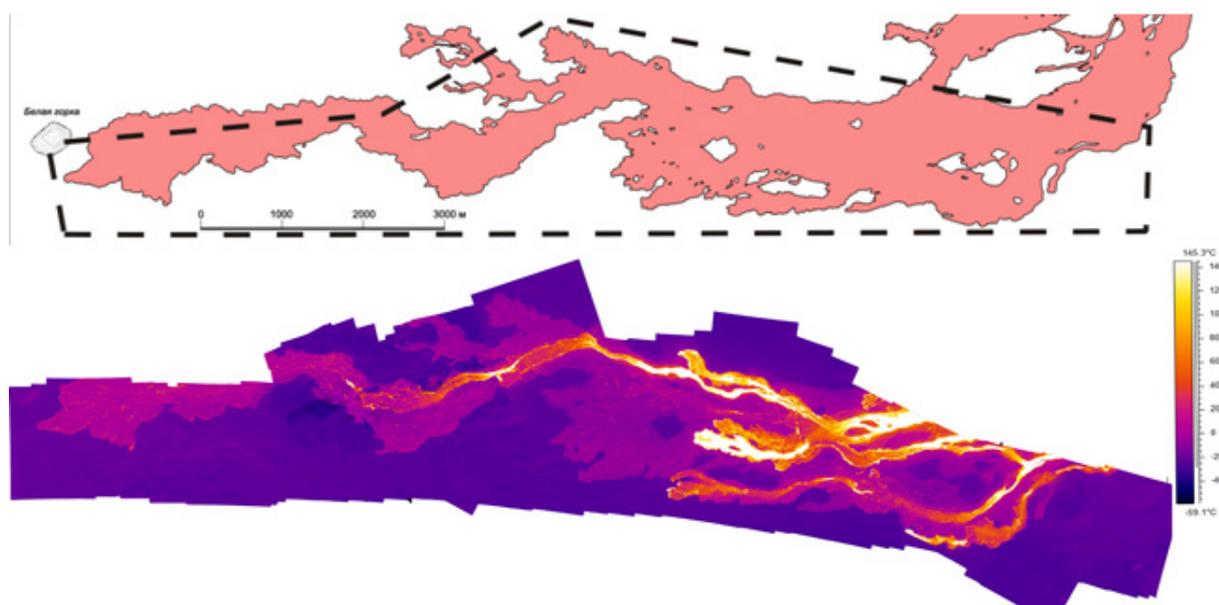


Рис. 8. Лавовый покров Ленинградского поля.

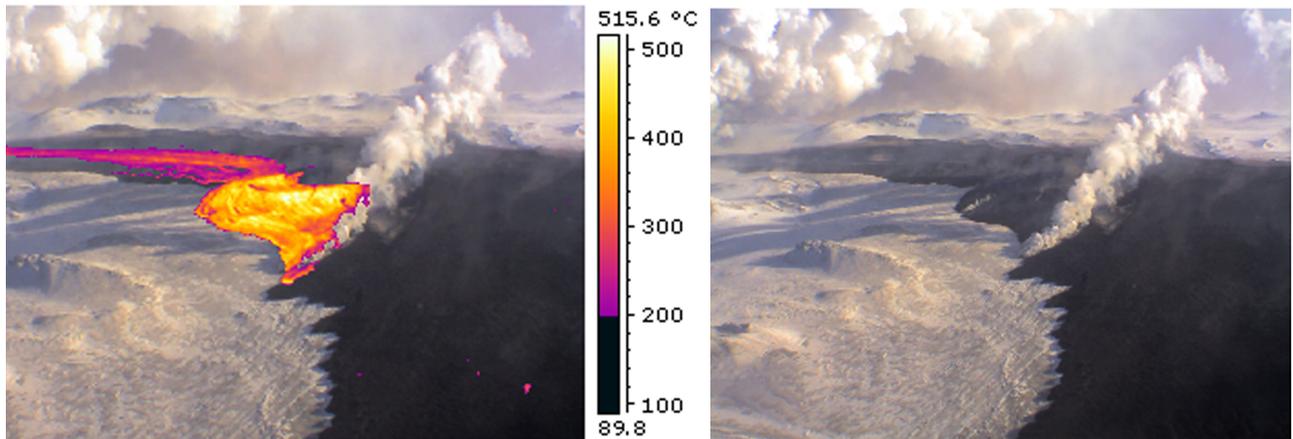


Рис. 9. Фрагмент двух порций Ленинградского лавового поля.

как бы в оболочке, которая остаётся на месте. Течение происходит в общем случае с переменной массой: расход на истоке не равен расходу в сечении потока. Формы лавовых потоков различны. Для вязких потоков характерна схема, предложенная Б. И. Пийпом [6], где оболочка состоит из бортовых валов, подошвы потока и кровли. Для жидких потоков известны случаи, когда сердцевина потока вытекала и кровля потока ложилась на подошву. Наиболее известна для жидких потоков форма течения по лавовой трубе. При этом диаметр лавовой трубы существенно меньше размеров лавового покрова, в котором она расположена.

Формирование лавовых покровов ТТИ им. 50-летия ИВиС началось из центра имени И. А. Меньяйлова тремя рукавами. Два из них за три дня сформировали Водопадное лавовое поле. Третий рукав пролегал в направлении конуса Клешня, огибал конус Красный и за ним поворачивал на запад. Уже 29 ноября 2012 г. вдоль этого рукава отмечалась лава (рис. 9), истоком которой являлись новообразующиеся конусы центра имени С. И. Набоко.

В дальнейшем из центра имени С. И. Набоко излились многочисленные порции лавы. Особенность формирования лавового покрова была в его ограниченности между образующимися конусами и буграми, расположенными восточнее. Поэтому лава, сначала протекающая по лавовой реке, потом скрывалась в лавовых трубах. Причём в перекрытии потоков лавы участвовал и материал разрушающихся восточных стенок конусов. При повышении высоты лавовых покровов перед конусом Клешня, лава стала двигаться не только на запад, но и на восток, образуя Толудское поле.

Пульсация расхода лавы приводила к образованию многочисленных выходов лавовых труб. Жид-

кие потоки, при возможности, растекаются по поверхности и в то же время могут следовать углублениям в рельефе. В результате многоактных излияний лавовый покров приобретает поверхность, которая не позволяет восстановить хронологию поступающих порций.

#### Заключение

Термограммы позволяют проследить уменьшение температуры вниз по потоку и выделить более ранние порции потока. Полученные данные полезны для определения коэффициента теплоотдачи и для построения графика изменения температуры поверхности лавового потока во времени на начальной фазе остывания.

Приведены монтажи термоизображений верхнего участка трещинной области, потоков Водопадного поля, Ленинградского поля, лавовой реки и конусов центра имени С. И. Набоко.

#### Список литературы

1. Авдейко Г. П., Хренов А. П., Флёров Г. Б. и др. Извержение вулкана Алаид в 1972 г. // Бюлл. вулканол. станций. 1974. № 50. С. 64 – 80.
2. Большое трещинное Толбачинское извержение (1975–1976 гг., Камчатка). М.: Наука, 1984. 638 с.
3. Дроздин В. А. Физика вулканического процесса. М.: Наука. 1980. 92 с.
4. Кирсанов И. Т. Извержение Ключевского вулкана в 1966 г. с прорывом побочных кратеров Пийпа в октябре-декабре 1966 г. // Бюлл. вулканол. Станций. 1968. № 44. С. 11- 29.
5. Кирсанов И. Т., Хренов А. П., Вакин Е. А. Действующие вулканы Камчатки и Курильских островов в 1973 г. // Бюлл. вулканол. станций. 1975. № 51. С. 3-18.
6. Пийп Б. И. Ключевская сопка и её извержения в 1944–1945 гг. и в прошлом // Труды Лабор. вулканол., 1956. вып. 11. 310 с.