

УДК 551.21+550.83.04

## ТЕПЛОВИЗИОННАЯ СЪЕМКА АКТИВНЫХ ВУЛКАНОВ КУРИЛЬСКИХ ОСТРОВОВ В 2009-2011 гг.

© 2012 Д.Н. Козлов, Р.В. Жарков

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск, 693022; e-mail: kozlov@imgg.ru*

В работе представлены результаты проведения тепловизионной съемки на активных вулканах Курильских островов: Головнина и Менделеева (о. Кунашир); Пик Сарычева (о. Матуа); Экарма (о. Экарма) и Заварицкого (о. Симушир) в экспедиционных работах 2009-2011 гг. Приведены термограммы, снятые после извержений вулканов Пик Сарычева в 2009 г. и Экарма в 2010 г. Описана методика проведения тепловизионной съемки и обработки инфракрасных снимков.

*Ключевые слова: тепловизор, вулкан, фумарольные поля, гидротермальные выходы.*

### ВВЕДЕНИЕ

В современной вулканологии при исследовании областей активного вулканизма используется высокотехнологичное пирометрическое оборудование – портативные цифровые тепловизоры. Зарубежные и российские ученые успешно применяют такую аппаратуру для поиска и обследования термоаномалий, мониторинга извержений и поствулканических процессов. При этом, с помощью программного обеспечения, они получают весьма значимые результаты аналитической обработки термограмм в виде динамических числовых данных, графиков и изотермальных схем (Гордеев, Дрознин, 2010; Дрознин, 2009; Дрознин, Дубровская, 2009; Calvari, Spampinato, Lodato et al., 2005; Mongillo, Wood, 1995; Sahetapy-Engel, Harris 2009).

Авторами в 2009-2011 гг. в ходе ежегодных экспедиций на о. Кунашир и комплексных экспедиций на Средние Курильские острова «Вулкан Пик Сарычева – 2009» (Левин и др., 2009), «Вулкан Пик Сарычева – 2010» (Левин и др., 2010), «Симушир-2011» проведена тепловизионная съемка на активных вулканах Курильских островов (рис. 1): Головнина и Менделеева (о. Кунашир), Пик Сарычева (о. Матуа), Экарма (о. Экарма) и Заварицкого (о. Симушир). Основная цель тепловизионных исследований – выяснение особенностей температурного режима и выявление термоаномалий активных вулканов. В результате полевых работ были получены

тепловизионные (инфракрасные) снимки фумарольных и гидротермальных полей, отдельных парогазовых выходов, внутрикальдерных озер, пирокластических и лавовых потоков активных вулканов Курильских островов. До настоящего времени такие работы на Курильских островах не проводились, а измерения осуществлялись температуры ртутными и электронными термометрами. В отличие от термометров, тепловизор позволяет провести точную площадную температурную съемку объектов. Нередко, применение этого прибора является единственным способом измерения температуры труднодоступных участков на активных вулканах, так как съемка производится дистанционно с расстояния до нескольких километров. Кроме этого, наблюдения с помощью тепловизора дают возможность выявления не известных термальных площадок на вулканах.

### МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

При проведении полевых работ на активных вулканах Курильских островов проводилась дистанционная тепловизионная съемка и контактное измерение температуры фумарольных полей и групп термальных источников. Съемка вулкана Пик Сарычева в 2009 г. проводилась тепловизором FLIR Thermacam E-45 (диапазон измеряемых температур -20°C – +250°C, точность ± 2°C, угловое поле 19×14°, разрешение активной матрицы 160×120 точек) и носила рекогносцировочный



Рис. 1. Схема Курильских островов и расположения объектов тепловизионной съемки.

характер. Данные, полученные с помощью этого прибора, имеют радиометрический формат \*.jreg. Съемка вулканов Головнина, Менделеева, Экарма, Заварицкого и Пик Сарычева в 2010-2011 гг. выполнялась более современным тепловизором SAT SDS Hotfind-LXS (диапазон измеряемых температур прибора –  $-20^{\circ}$  -  $+1000^{\circ}\text{C}$ , точность  $\pm 2^{\circ}\text{C}$ , угловое поле  $24 \times 18^{\circ}$ , пространственное разрешение 1.1 мрад, разрешение активной матрицы  $384 \times 288$  точек), приобретенным лабораторией вулканологии и вулканопасности ИМГиГ ДВО РАН в 2010 г. Визуализация, обработка и просмотр термограмм формата \*.sat и \*.ccd осуществлялись при помощи программного пакета Sat IRDBReport Standard 2009.

Для подтверждения фактических показаний тепловизора нами проводилось сравнение данных о распределении температур на термограммах и результатов измерений электронным термометром «Digitron-T200KC» с термопреобразователем КТХА 01.02Р-Т310 (диапазон рабочих температур термометра составляет от  $-200^{\circ}\text{C}$  до  $+1350^{\circ}\text{C}$ , точность  $0.1^{\circ}\text{C}$ ), который является стандартным инструментом при полевых исследованиях.

Существенное влияние на показания тепловизора оказывают температура и влажность атмосферы, расстояние до объекта съемки, а также

солнечная инсоляция, которые учитываются в полевых условиях непосредственно при работе на объекте. Как правило, во время проведения съемки на активных вулканах Курильских островов была высокая плотная облачность, поэтому солнечная инсоляция была минимальной, что является важным условием для получения достоверных результатов. Кроме этого, на показания температуры существенно влияет вводимый в тепловизор коэффициент теплового излучения (КТИ). По данным (Бабичев и др., 1991) КТИ воды при температуре  $100^{\circ}\text{C}$  составляет 0.96, однако, в этой работе не приводятся данные о КТИ многокомпонентных парогазовых смесей. Для фумарольных выходов, как правило, состоящих на 80-90% из водяного пара, значение КТИ нами задавалось как у термальной воды.

Необходимо учесть, что метод измерения тепловизором – это дистанционный площадной способ съемки, а измерения электронным термометром – это контактный точечный метод замеров температур. Определение точки максимальной температуры тепловизором осуществляется автоматически, а при измерениях термометром в полевых условиях очень сложно найти температурный максимум, особенно для крупных фумарол и гидротермальных выходов, поэтому иногда возникают разницы значений

этих способов измерений. Сравнение показаний тепловизора и электронного термометра выявило расхождение температур в пределах от 0 до 10-20°С.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

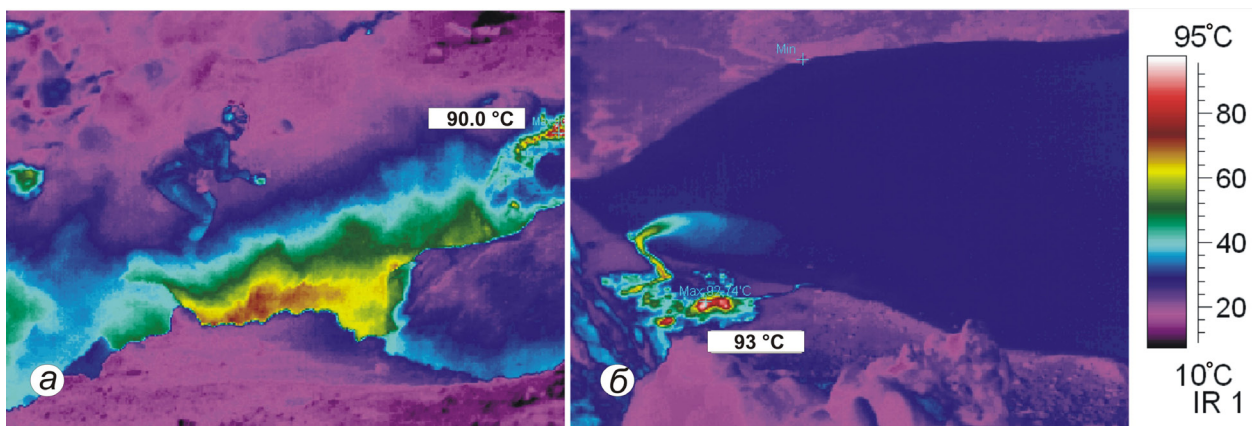
**Вулкан Головнина** располагается в южной части острова Кунашир (рис. 1) и представляет собой кальдеру размером 4×5 км по бровке уступа и 3.5×3 км по дну. В ней находятся оз. Горячее и Кипящее и расположены экструзивные куполы, на периферии которых проявляется постоянная фумарольная и термальная деятельность с температурой фумарол и термальных источников до 100°С (Козлов, Жарков, 2009). Проявление эруптивной деятельности в кальдере Головнина 640-680 л.н. связано с фреатическим взрывом (Фазлуллин, Батоян, 1989), в результате которого образовался кратер диаметром около 350 м, с находящимся там озером Кипящее. В настоящее время со дна озера и по берегам выходят фумарольные газы и термальные воды разного химического состава, измеренная температура поверхности озера ~ 35°С, а в местах мощных выходов парогидротерм достигает 90°С. В ходе проведения тепловизионной съемки в кальдере вулкана Головнина получено 225 термограмм наиболее прогретых участков Центрального Восточного фумарольного поля на берегах оз. Кипящее и Центрального Западного фумарольного поля на берегу оз. Горячее (рис. 2). На снимках отчетливо видно как распределяется температура в выходах термальных вод, как прогревается область вокруг таких выходов, а также самые горячие точки фумарольных полей. Результаты съемки подтверждены данными электронного термометра. На основании температурного анализа поверхностей гидротермальных выходов фумарольных полей выбраны наиболее представительные места для установки в дальнейшем

цифровых температурных датчиков НОВО U12, которые позволят провести непрерывные круглогодичные измерения температуры.

**Вулкан Менделеева** (889 м) расположен в центральной части острова Кунашир (рис. 1). Этот стратовулкан прошел длительную и очень сложную историю развития, о чем свидетельствуют три последовательно сформировавшихся вулканических конуса, впоследствии разрушенных в результате эксплозивных извержений с образованием кальдерно-кратерных депрессий размером 6×9, 3×3.5 и 1×1 км. После образования последней кальдерно-кратерной депрессии около 2500 л.н. начался рост андезидацитового экструзивного купола (Абдурахманов и др., 2004).

Следующим этапом в развитии вулкана стало образование воронок взрыва по кольцевым разломам на периферии экструзивного купола, в результате чего на склонах вулкана сформировались действующие фумарольные поля с выходами газов и термальных вод с температурой 90-100°С. В 2010 г. были получены инфракрасные изображения на одном из наиболее активных фумарольных полей – Северо-Восточном, где тепловизионная съемка позволила оконтурить наиболее прогретые участки на всей площади поля. Также были отсняты участки с термальными источниками в долинах руч. Кислый, Докторский и Змеиный (рис. 3), при этом проводилась проверка измерений тепловизора электронным термометром. Всего на вулкане Менделеева получено 180 термограмм, детально отображающих температуру участков северо-восточного склона вулкана.

**Вулкан Пик Сарычева** находится на о. Матуа, который расположен в центральной части Курильских островов (рис. 1), его длина около 12 км, ширина 6.4 км. Большую часть острова занимает современная постройка стратовулкана Пик Сарычева (1446 м). Вулкан является наиболее активным на Курильских островах: только за последние 100 лет зафиксировано 7 эксплозивных и



**Рис. 2.** Термограмма Центрального Западного фумарольного поля вулкана Головнина (а): вулканолог делает замеры температуры фумарольного выхода (~ 90°С); термограмма юго-восточного участка Центрального Восточного фумарольного поля вулкана Головнина (б).

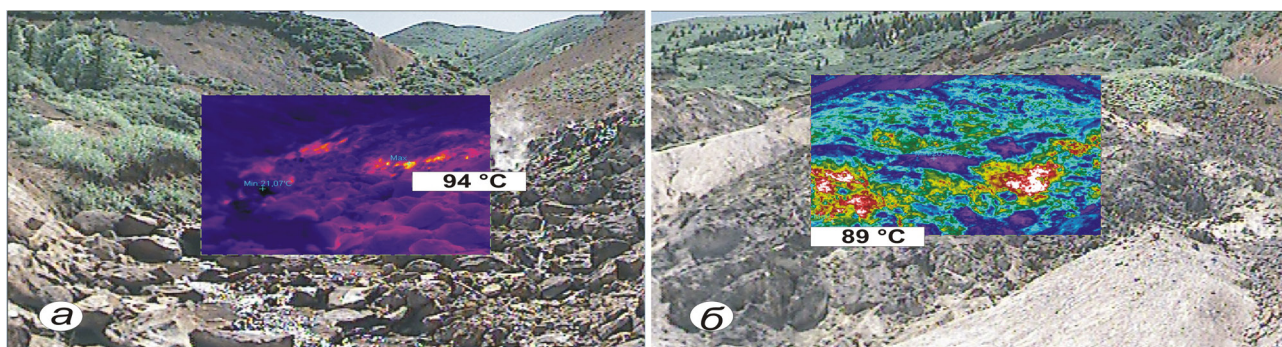


Рис. 3. Совмещенные с фотографией термограммы Верхней группы термальных источников руч. Кислый (а) и Северо-Восточного фумарольного поля вулкана Менделеева (б).

эксплозивно-эффузивных извержений. Во время эксплозивно-эффузивного извержения 11 июня 2009 г., в результате образовались мощные пирокластические потоки площадью около 8 км<sup>2</sup> и два лавовых потока, сошедших по северо-восточному и восточному склонам вулкана. Минимальная оценка объема изверженных пород составляет 0.4 км<sup>3</sup>, что позволяет это извержение уверенно отнести к четвертому классу по международной классификации VEI (Рыбин и др., 2010).

Для изучения последствий извержения под руководством к.г.-м.н. А.В. Рыбина (ИМГиГ ДВО РАН) с 23 июня по 3 июля 2009 г. была организована экспедиция «Вулкан Пик Сарычева – 2009», в ходе которой нами выполнялась тепловизионная съемка пирокластических отложений вулкана. В этот период вулкан находился уже в стадии сильной парогазовой активности. Из вершинного кратера выходил мощный парогазовый столб высотой более 2 км, на пирокластических потоках проявлялась интенсивная фумарольная деятельность, максимальные температуры отдельных бескорневых фумарол здесь достигали 500°C. С помощью тепловизора FLIR Termacam E-45 удалось не только получить данные о распределении температур на поверхности пиропотоков

на побережье, но и выделить наиболее прогретые участки в привершинной части конуса вулкана (рис. 4). Показания тепловизора подтверждались замерах термомпарой на пирокластических потоках периферийных участков вулкана. Замерить температуру парогазового столба контактным способом не представлялось возможным. Были проведены лишь измерения температуры поверхности южной части конуса до высоты 1100 м. Температура пирокластике здесь составляла 115–200°C. На термограммах конуса вулкана отчетливо прослеживается наиболее прогретая вершинная часть, окаймляющая кратер. Также прогреты участки барранкосов, радиально расходящихся от кратера, так как в них мощность высокотемпературной пирокластике больше.

В 2010 г. была проведена экспедиция «Вулкан Пик Сарычева – 2010» (под руководством к.г.-м.н. А.В. Рыбина, ИМГиГ ДВО РАН), в ходе которой изучались вулканы Пик Сарычева и Экарма. На вулкане Пик Сарычева, спустя год после извержения, нами была выполнена тепловизионная съемка южного пирокластического потока и восточного лавового потока. Группа бескорневых фумарол на южном потоке, температура которых в 2009 г. достигала 212°C, практически угадала.

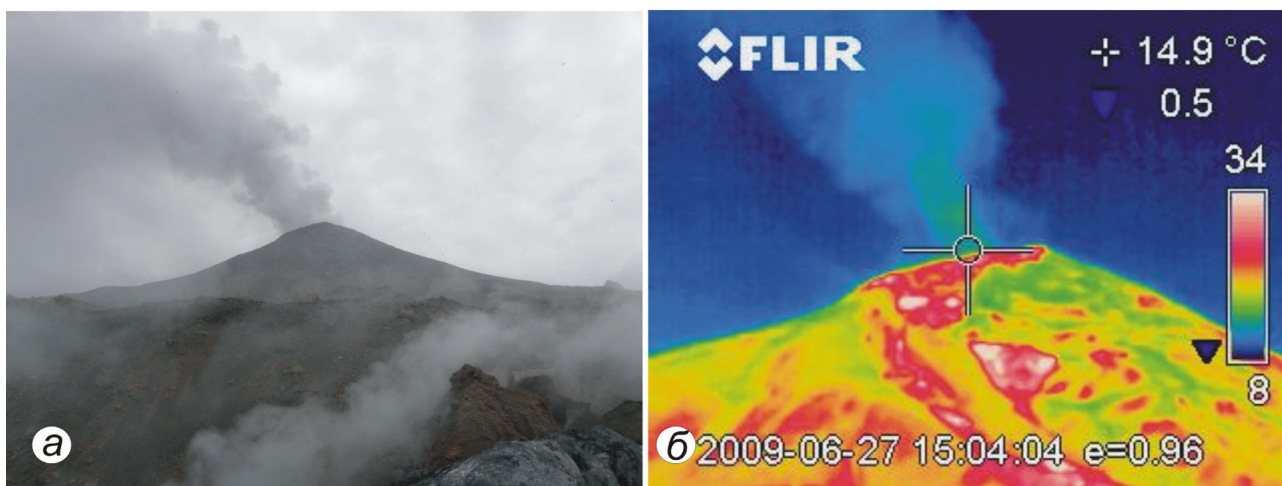
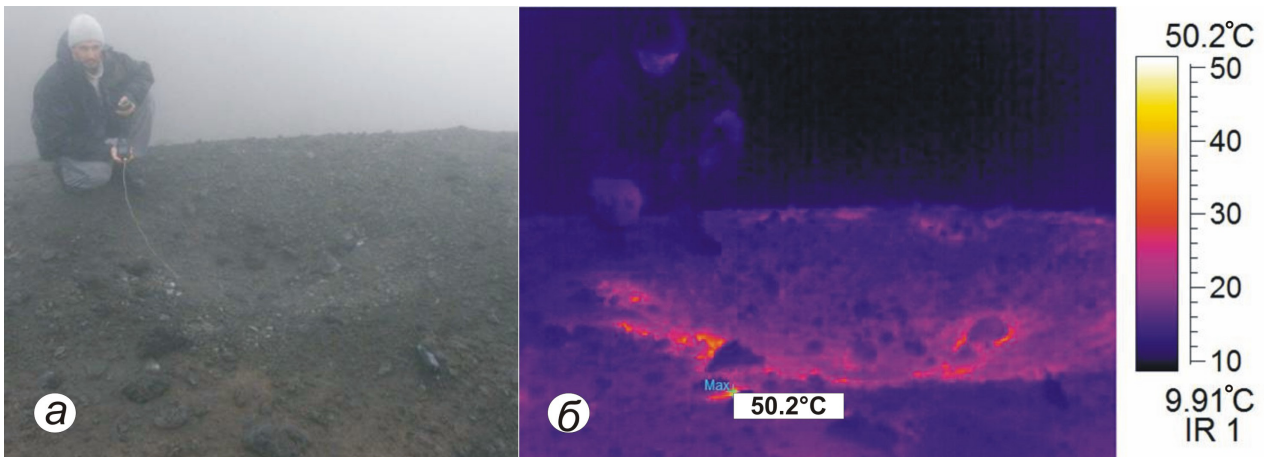


Рис. 4. Фотография вершинной части конуса вулкана Пик Сарычева, (а) и термограмма вершинной части конуса вулкана Пик Сарычева, 27 июня 2009 г. (б).



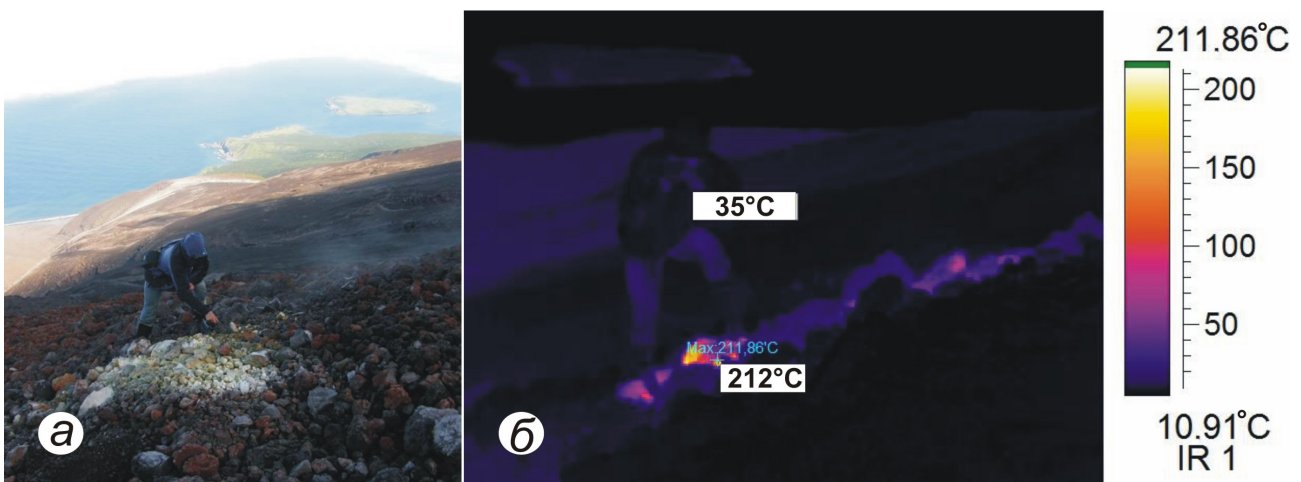
**Рис. 5.** Фотография воронки от падения вулканической бомбы на пирокластический поток извержения 2009 г., 18 августа 2010 г. (а) и термограмма воронки от падения вулканической бомбы на пирокластический поток извержения 2009 г., 18 августа 2010 г. (б). Температура достигает 50°C.

В пасмурную погоду они были не заметны, и только с помощью тепловизора удалось установить их расположение, температура их в 2010 г. была уже 50-70°C (рис. 5).

На восточном склоне вулкана обследованы отложения пирокластического потока и сошедшего по ним лавового потока. Температуры бескорневых фумарол на прибрежной части пирокластического потока были от 25° до 90°C. На фронте лавового потока проявлялось слабое парение, температура дисперсных парогазовых выходов было ~ 50°C. Погодные условия позволяли провести дистанционную тепловизионную съемку лавового потока от фронтальной части до высоты 1000 м. На высоте 700 м нами была обнаружена термоаномалия, представляющая собой бескорневую фумаролу (ультракислый конденсат фумаролы имеет рН 0.7 и Eh 324), которая была не различима невооруженным глазом. При измерении тепловизором и электронным термометром ее температура составила 212°C (рис. 6).

**Вулкан Экарма.** Вулкан Экарма (1117 м) расположен в западной части одноименного острова размером 5×8 км. Это одиночный стратовулкан, сформированный многочисленными лавовыми потоками длиной до 3 км. Все извержения происходили из вершинного кратера. Современный облик вулкана сформировало сильное извержение 1767-1769 гг. (Горшков, 1967а). Современный период активизации вулкана связан со слабым эксплозивным извержением в июне 2010 г. В рамках экспедиции «Вулкан Пик Сарычева – 2010» (Левин и др., 2010) 24 августа удалось исследовать последствия этого извержения и провести тепловизионную съемку. В период обследования вулкан проявлял интенсивную постэруптивную активность в виде двух мощных парогазовых столбов на южном склоне вулкана на высотах около 700 и 800 м.

В ходе однодневного обследования склонов вулкана нам удалось подняться по юго-восточному склону до высоты 750 м и провести



**Рис. 6.** Фотография вторичной фумаролы на лавовом потоке извержения 2009 г., 19 августа 2010 г. (а) и термограмма вторичной фумаролы на лавовом потоке извержения 2009 г. (б), 19 августа 2010 г. Температура на поверхности 212°C.

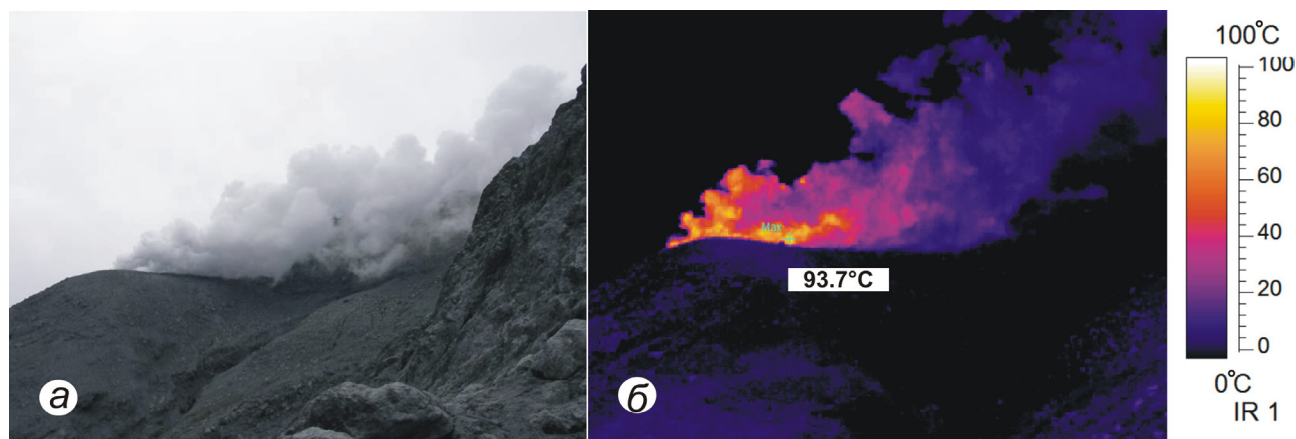


Рис. 7. Фотография постэруптивного парагазового столба вулкана Экарма (а) и термограмма постэруптивного парагазового столба вулкана Экарма с температурой  $\sim 100^\circ\text{C}$  (б), 24 августа 2010 г.

тепловизионную съемку с дистанцией до верхнего парагазового столба от 1000 до 250 м. Всего было получено 19 термограмм, отсняты фото- и видеоматериалы (рис. 7).

Сопоставление результатов тепловизионной съемки с фото- и видео материалами позволило, используя методику, описанную в работах (Гордеев, Дрознин, 2010; Дрознин, 2009; Дрознин, Дубровская, 2009), рассчитать среднюю скорость подъема парагазового столба, которая составила  $\sim 5$  м/с. Зная температуру столба ( $100^\circ\text{C}$  по данным термограмм) и его примерный радиус в районе жерла (5 м), мы провели расчет тепловой мощности и расхода пара верхнего парагазового столба. Для этого применялось уравнение теплового баланса, приведенное в статье Е.И. Гордеева и В.А. Дрознина (2010):

$$QJ = V\omega R^2\gamma cT,$$

где  $J$  – теплосодержание пара при температуре  $100^\circ\text{C} = 2682.9$  кДж/кг;

$c$  – удельная теплоемкость воздуха =  $1$  кДж/кг $\cdot^\circ\text{C}$ ;

$\gamma$  – плотность воздуха =  $1.2$  кг/м $^3$ ;

$V$  – средняя скорость потока в области всплытия =  $5$  м/с;

$R$  – радиус сечения шлейфа в области всплытия =  $5$  м.

В результате расчетов установлено, что тепловая мощность струйного термического потока равна  $9.4$  мВт, расход пара  $Q = 3.5$  кг/с. С момента начала извержения 13 июня, до наших наблюдений (70 дней) было вынесено не менее  $2 \cdot 10^4$  тонн водяного пара.

Расчеты приведены для верхнего парагазового столба, если учесть, что параметры нижнего столба аналогичны, то общий расход пара на вулкане Экарма составит не менее  $7$  кг/с.

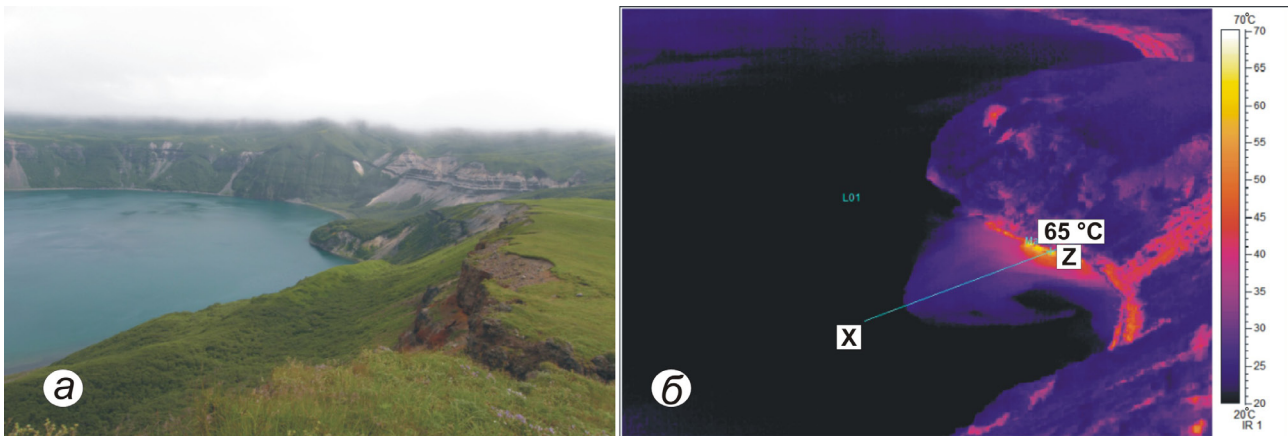
В дальнейшем планируется выполнить аналогичные расчеты и для других активных вулканов Курильских островов.

**Вулкан Заварицкого** находится в центральной части острова Симушир (рис. 1) и представляет собой сложный кальдерный комплекс. Комплекс состоит из трех кальдер диаметрами 8, 4 и 2.8 км, которые последовательно вложены друг в друга (Горшков, 1967б). В пределах самой молодой внутренней кальдеры расположено бессточное оз. Бирюзовое размером  $1.5 \times 2$  км и глубиной до 87 м (Козлов, Жарков, 2009). В северной части кальдеры располагаются Северный экструзивный и Восточный эффузивный куполы. После извержения 12 ноября 1957 г. в районе Северного экструзивного купола длительное время проявлялась фумарольная активность (Горшков, 1967б), которая в настоящее время полностью прекратилась.

В 2007 г. нами была выполнена эхолотная съемка внутрикальдерного озера Бирюзовое (Козлов, Жарков 2009). На эхолотных профилях юго-западной части озера хорошо виден участок, на котором еще в 1940–60 гг. (Горшков, 1967б; Зеленов, Канакина, 1962; Корсунская, 1956) располагались термальные источники с температурой  $90$ – $100^\circ\text{C}$ . По состоянию на 2007 г., в связи с подъемом уровня озера, термальные источники оказались под водой на глубине до 10 м. В этом районе вода и песок на берегу прогреты до температуры  $40$ – $91.2^\circ\text{C}$ , на фоне температур  $\sim 14^\circ\text{C}$  (Козлов, Жарков 2009).

В 2011 г. состоялась экспедиция «Симушир-2011» (руководитель к.г.-м.н. А.В. Рыбин, ИМГиГ ДВО РАН), в рамках которой для вулкана Заварицкого была выполнена тепловизионная съемка внутренней кальдеры (рис. 8) и получены 28 термограмм различной степени детализации. Дистанция до места съемки была около 1 км. Максимальная температура поверхности озера в районе выхода гидротерм, зарегистрированная при помощи тепловизора, составила  $65^\circ\text{C}$ .

Визуальная оценка термограммы (рис. 8б) и температурного профиля (рис. 9), на котором



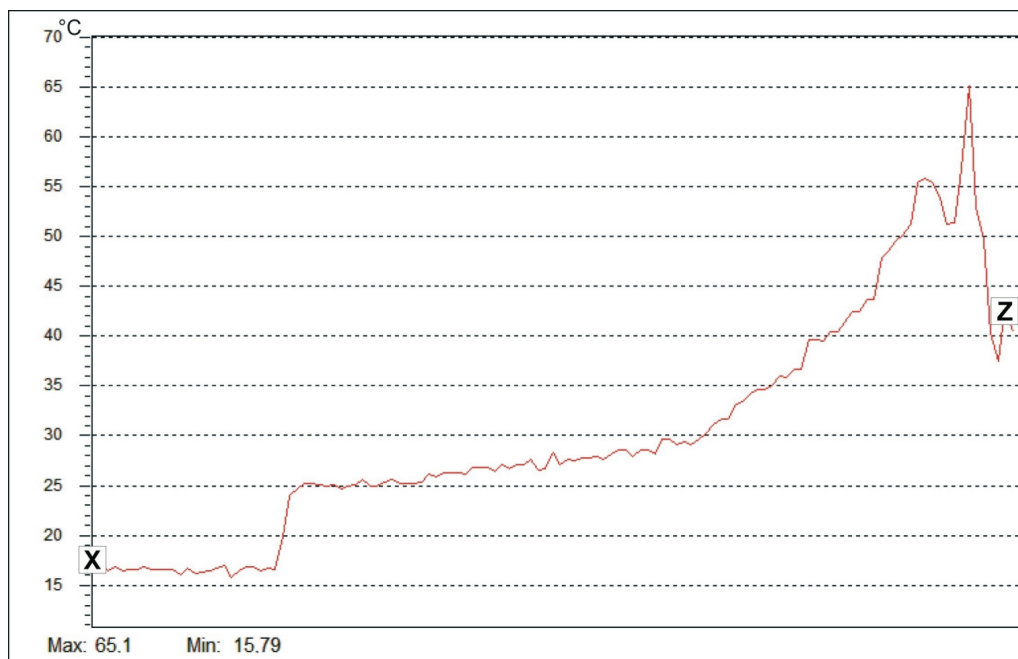
**Рис. 8.** Вид на затопленные термальные источники кальдеры Заварицкого, с юго-западного края кальдеры в 2011 г. (а) и термограмма затопленных термальных источников кальдеры Заварицкого, 24 июля 2011г. (б) с нанесенной линией температурного профиля XZ.

видно, что шлейф термальных вод прогревает озеро на десятки метров от берега, позволила сопоставить данные о дислокации и температурном режиме подводных гидротерм с данными измерений термометром и эхолокационным профилированием 2007 г. (Козлов, Жарков 2009). В результате сопоставления выявлено соответствие значений температур инфракрасной съемки 2011 г. с контактными измерениями, выполненными электронным термометром 2007 г., в пределах погрешностей, установленных для приборов. По-видимому, в последние годы температурный режим во внутрикальдерном озере Бирюзовое сохранился прежним, каких-либо значительных изменений в деятельности подводных гидротермальных выходов не произошло.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате тепловизионной съемки активных вулканов Головнина, Менделеева, Пик Сарычева, Экарма и Заварицкого получено 650 термограмм. Проведенные исследования показали, что использование тепловизионной съемки – весьма информативный способ дистанционных наблюдений, позволяющий решить следующие задачи:

- проведение площадного температурного обследования труднодоступной или недоступной местности;
- проведение экспресс-осмотра температурного состояния вулканов с судна, моторной лодки или воздушных судов в условиях нехватки экспедиционного времени;



**Рис. 9.** Температурный профиль по линии XZ, построенный на основе термограммы, отражающий характер распределения температур по поверхности озера Бирюзовое.

– поиск и уточнение границ термальных аномалий на различных частях вулканов;

В настоящее время назрела необходимость в создании цифрового каталога термограмм активных вулканов Курильских островов, для которого у нас уже имеется основа. В его структуру будут входить данные о географическом положении и современной термальной активности, фотографии, термограммы и результаты их обработки.

По нашему мнению, для большей информативности и точности привязки получаемых результатов инфракрасной съемки необходимо разработать систему стационарных пунктов тепловизионного обследования, представленную двумя типами точек наблюдений:

1. Точки съемки вулканической постройки с максимальным захватом наибольшей части активного вулканического центра (съемка с подножья вулкана, кромки кратера или кальдеры). Из этих пунктов наблюдений можно получать снимки, характеризующие общее состояние вулкана.

2. Точки съемки, находящиеся в непосредственной близости от различных вулканических объектов: фумарольных полей, термальных площадок, источников, куполов и других мест проявлений термальной активности, находящихся непосредственно на вулкане или на его периферии. Из этих пунктов возможен сбор более конкретных показаний о распределении температур на объектах.

В перспективе, при обработке результатов тепловизионной съемки активных вулканов Курильских островов, важной составляющей аналитической работы должно быть сопоставление с космическими снимками ИК-диапазона, съемками теплового потока, результатами эхолокационной съемки кратерных озер и данными электротомографии. Это позволит уточнить границы термальных аномалий и всесторонне анализировать термограммы.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 10-05-00797-а и ДВО РАН № 11-III-B-08-056.

#### Список литературы

*Абдурахманов А.И., Разжигаяева Н.Г., Рыбин А.В. и др.* Вулкан Менделеева – история и современное состояние (о. Кунашир, Курильские острова) // Взаимосвязь между тектоникой, сейсмичностью, магмообразованием и извержениями вулканов в вулканических дугах. Материалы IV международного совещания. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2004. С. 45-47.

*Бабичев А.П., Бабушкина Н.А., Братковский А.М. и др.* Физические величины: Справочник. Под ред. И.С. Григорьева, Е.З. Мейлихова. М.: Энергоатомиздат, 1991. 1232 с.

*Гордеев Е.И., Дроздин В.А.* Температура эксплозивного шлейфа извержения вулкана Корякский в 2009 г. // ДАН. 2010. Т. 430. № 3. С. 349-351.

*Горшков Г.С.* Вулканизм Курильской островной дуги. М.: Наука. 1967а, 287 с.

*Горшков Г.С.* Кальдера Заварицкого // Бюл. вулканол. станции. 1967б. № 30. С. 31-49.

*Дроздин В.А., Дубровская И.К.* Тепловизионные исследования вулканов Камчатки в 2008-2009 гг. // Материалы II научно-технической конференции «Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России» 11-17 октября 2009, г. Петропавловск-Камчатский. Петропавловск-Камчатский: ГС РАН, 2009. С. 38-42.

*Дроздин В.А.* Новый гейзер в кальдере вулкана Узон // Вестник КРАУНЦ. Науки о земле. 2009. № 2. Вып. 14. С. 10-12.

*Зеленов К.К., Канакина М.А.* Бирюзовое озеро (кальдера Заварицкого) и изменение химизма его вод в результате извержения 1957 г. // Бюл. вулканол. станции. 1962. № 32. С. 33-44.

*Козлов Д.Н., Жарков Р.В.* Новые данные по морфологии внутрикальдерных озер островов Кунашир и Симушир // Вестник КРАУНЦ. Науки о земле. 2009. № 2. Вып.14. С. 159-164.

*Корсунская Г.В.* Вулканы острова Симушир // Бюл. вулканол. станции. 1956. № 24. С. 61-65.

*Левин Б.В., Рыбин А.В., Разжигаяева Н.Г. и др.* Комплексная экспедиция «Вулкан Сарычева-2009» (Курильские острова) // Вестник ДВО РАН. 2009. № 6. С. 98-104.

*Левин Б.В., Мелекесцев И.В., Рыбин А.В. и др.* Экспедиция «Вулкан Пик Сарычева – 2010» (Курильские острова) // Вестник ДВО РАН, 2010. №6. С. 152-159.

*Рыбин А.В., Разжигаяева Н.Г., Ганзей К.С. и др.* Извержение вулкана Пик Сарычева в 2009 году. М.: Янус-К, 2010. 48 с.

*Фазлуллин С.М., Батоян В.В.* Донные соадки кратерного озера вулкана Головнина // Вулканология и сейсмология. 1989. № 2. С. 44-55.

*Sahetapy-Engel Steve T., Harris Andrew J. L.* Thermal structure and heat loss at the summit crater of an active lava dome // Bull. Volcanology. 2009. V. 71. P. 15-28.

*Calvari S., Spampinato L., Lodato L., et al.* Chronology and complex volcanic processes during the 2002-2003 flank eruption at Stromboli volcano (Italy) reconstructed from direct observations and surveys with a handheld thermal camera // JGR. 2005. V. 110. B02201. P. 23.

*Mongillo M.A., Wood C.P.* Thermal infrared mapping of White Island volcano, New Zeland // J. of vocanology and geothermal res. V. 69. 1995. P. 59-71.



ТЕПЛОВИЗИОННАЯ СЪЕМКА  
**HEAT VISION SURVEY AT ACTIVE VOLCANOES OF  
THE KURILE ISLANDS IN 2009-2011**

**D.N. Kozlov, R.V. Zharkov**

*Federal State Budget Institution of science Institute of Marine Geology and Geophysics FEB RAS;  
Russia, Yuzhno-Sakhalinsk, 693022*

The paper presents results from heat vision survey conducted at the following active volcanoes of the Kurile Islands during field works in 2009-2011: Golovnin and Mendeleev (Kunashir Isl.), Sarychev Peak (Matua Isl.), Ekarma (Ekarma Isl.), and Zavaritsky (Simushir Isl.). The paper contains thermogramms made after eruptions of Sarychev Peak in 2009 and Ekarma in 2010. Methods of heat vision survey and processing of infra-red images are described.

*Keywords: heat vision device, volcano, fumarole fields, hydrothermal outputs.*