

Дрознин В.А., Дубровская И.К.

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, [dva@kscnet.ru](mailto:dva@kscnet.ru)

### Технические характеристики.

В 2008 г. Институт приобрел тепловизионную камеру высокого разрешения SC-640 фирмы FLIR Systems, регистрирующий излучение в спектральном диапазоне 7.5-13 мкм на детектор с матрицей 640\*480 пикселей.

Экспериментально установлено для нормального объектива фокусное расстояние  $f = 38$  мм, поле зрения  $25.04^\circ \times 18.78^\circ$ , физический размер матрицы: **16.72 x 12.54 мм** Соответственно при съёмке с расстояния  $H$  ширина захвата будет  $X = 0.44 H$  высота захвата  $Y = 0.33 H$ , разрешение  $1\text{pix} = 0.0006875 H$  Для телеобъектива с фокусным расстоянием  $f = 130\text{мм}$  параметры захвата будут  $0.12H \times 0.09H$  с разрешением  $1\text{pix} = 0.000187H$ .

Штатно запись информации возможна в виде: - 1) одиночного изображения, для широкоугольного и нормального объектива с синхронным фото снимком (фотосопровождением); 2) последовательности кадров (до 186 кадров) с задаваемой дискретностью; 3) видеопотока с использованием компьютера с задаваемой частотой кадров, не более 30 кадр/с.

При разрядности 14 бит регистрация мощности излучения возможна в трех диапазонах температур АЧТ (абсолютно чёрного тела): от  $-30^\circ\text{C}$  до  $150^\circ\text{C}$ ; от  $0^\circ\text{C}$  до  $500^\circ\text{C}$ ; от  $300^\circ\text{C}$  до  $1200^\circ\text{C}$ . Результат представляется в виде радиометрического jpg-файла причём в виде градаций не регистрируемой мощности излучения  $W$ , а в виде градаций исходной температуры излучающей поверхности. Пересчёт осуществляется программно (камерой или ПК) при вводе необходимых параметров: коэффициента излучения  $\epsilon$ ; длины трассы, влажности и температуры атмосферы на трассе (по которым рассчитывается коэффициент поглощения  $\tau$ ), температуры отраженного излучение  $T_{\text{ref}}$ .

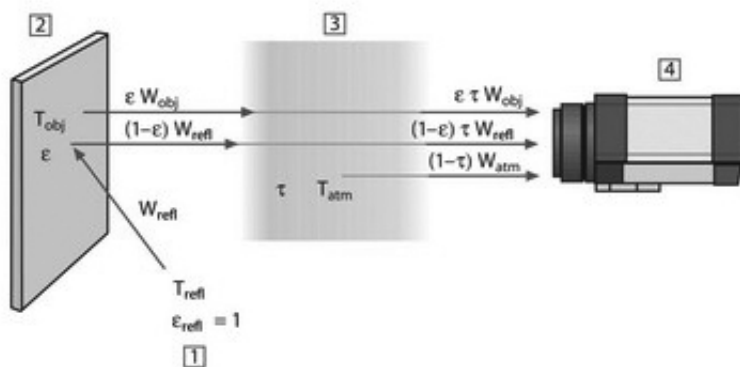


Рис.1 Схема формирования регистрируемого сигнала: 1- окружающее, 2 – объект, 3- атмосфера, 4 – тепловизор.

Для примера на Рис.2 представлена работа алгоритма пересчёта мощности излучения АЧТ при  $T=70^\circ\text{C}$  в зависимости от длины трассы и температуры атмосферы при влажности 70%, температуре отражённого излучения равной температуре атмосферы. Видно, что существенное влияние на расчётную температуру наблюдается при расстояниях более 800 м, а при температуре воздуха более  $25^\circ\text{C}$  алгоритм работает не корректно.

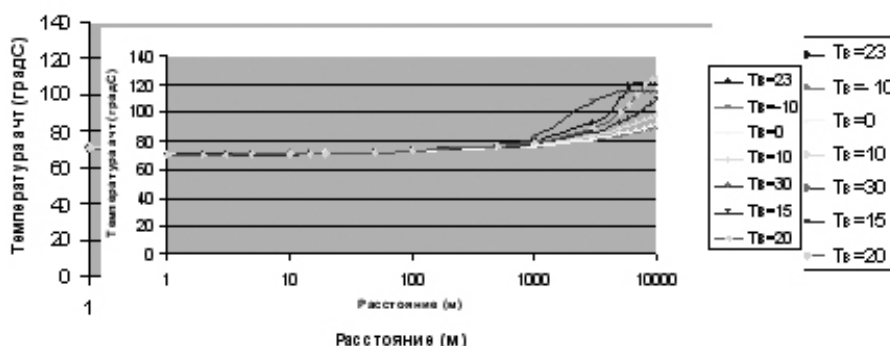


Рис.2 Зависимость температуры объекта от длины трассы и температуры воздуха.

Чувствительность прибора, заявленная производителем,  $0.06^{\circ}\text{C}$  при  $30^{\circ}\text{C}$ . При  $70^{\circ}\text{C}$  экспериментальное определение по АЧТ даёт  $0.25^{\circ}\text{C}$ .

При выполнении аэросъёмки для определения длины трассы использовался GPS навигатор, синхронизированный по времени с тепловизионной камерой. Температура и влажность атмосферы брались по ближайшей метеостанции.

#### **Вулкан Авачинский.**

Термоаномалии фиксируются по всему кратеру вулкана как внутри, так и на внешнем склоне. Площадные аномалии представлены в основном термопроявлениями типа парящий грунт (северная и западная кромка кратера, северо - западное, западное и южное поля на внешнем склоне, разломная зона северо-восточного простираения на внешнем склоне). Температура лавового поля внутри кратера за исключением центральной части незначительно превышает фоновые значения. Основной вынос тепла осуществляется сосредоточенными источниками – фумаролами, группами фумарол, координаты которых показаны на Рис.3, и приурочены к разлому – рву, образовавшемуся в 2001 г.

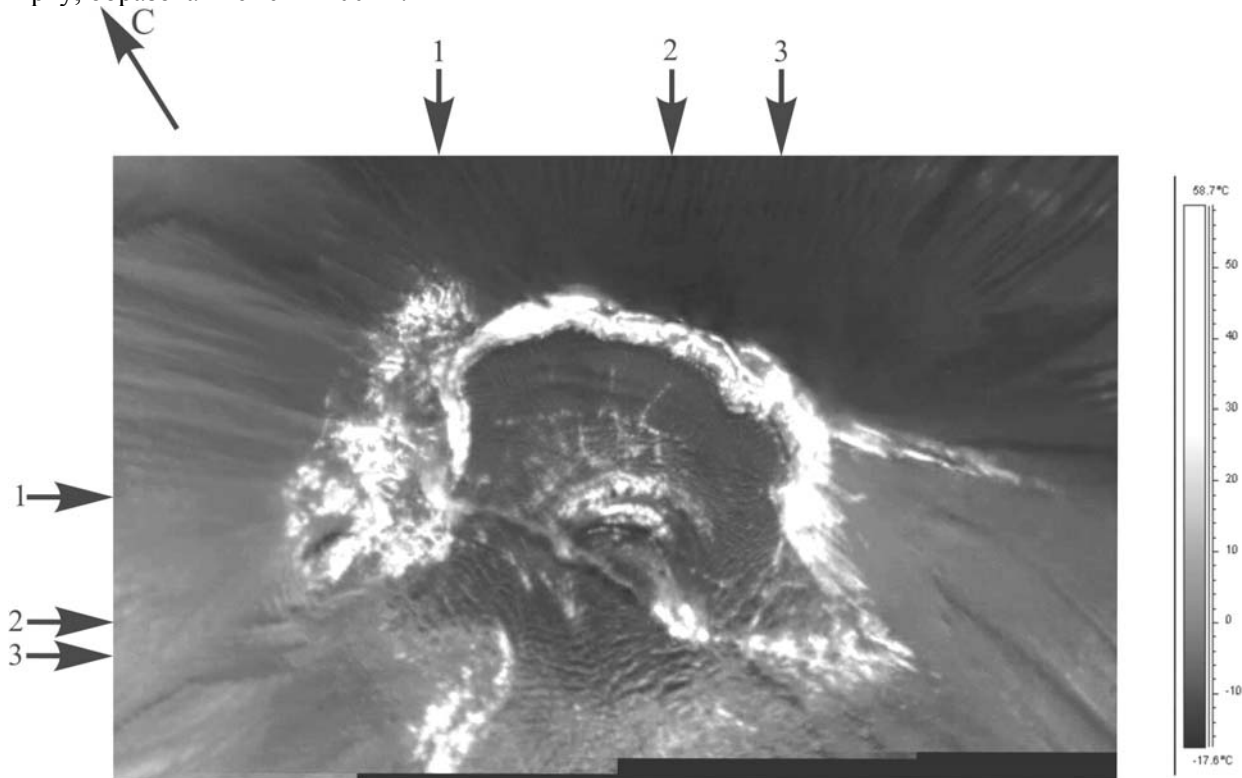


Рис.3 Структура теплового излучения вулкана Авачинский 17.10.09г. Указаны координаты групп фумарол.

Из опыта многолетних наблюдений за тепловой разгрузкой вулкана Авачинский отметим:

- за три года до извержения, было обнаружено возникновение термоаномалии в южной части на дне кратера - месте будущего истока лавы 1991 г.;
- сохранение конфигурации термоаномалий на участках непосредственно не затронутых лавой извержения 1991 г.;
- проекция центра рва, образовавшегося в 2001 г., совпадает с истоком лавы 1991 г.;
- в 2005 г. отмечено появление прогретой зоны в районе фумаролы “Серный гребень” и новой линейной термоаномалии в зоне фумарольного поля “Восточное”;
- 30.01.2009 г. отмечено появление новой термоаномалии в районе фумарольного поля №2 (Рис.3);
- тепловая мощность фумарольных выходов практически осталась на уровне 80-х годов, что указывает на независимость питания фумарол от текущей магматической активности;
- максимальная температура зарегистрирована в районе фумарольного поля №2 (Рис.3) и составила в 2005 г. -  $120^{\circ}\text{C}$ , в 2008 г.  $>150^{\circ}\text{C}$ , в 2009 г. -  $400^{\circ}\text{C}$ .

#### **Вулкан Безымянный.**

В период наблюдения 2007-2009 гг. в активности экструзивного купола отмечены извержения: 15 – 16 октября, 5 ноября 2007 г., 19 августа 2008 г. Однако термограммы Рис.4 свидетельствуют о наличии четырех инерционных тепловых аномалий, активность которых не

зависит от текущей магматической активности. Заметим, что ранее инерционные аномалии наблюдались в западной части кратера, образовавшегося в 1956 г., пока они не были перекрыты мантией экструзивного купола.

Данные 2007 г. приводятся по съемке американских исследователей тепловизором SC-40.

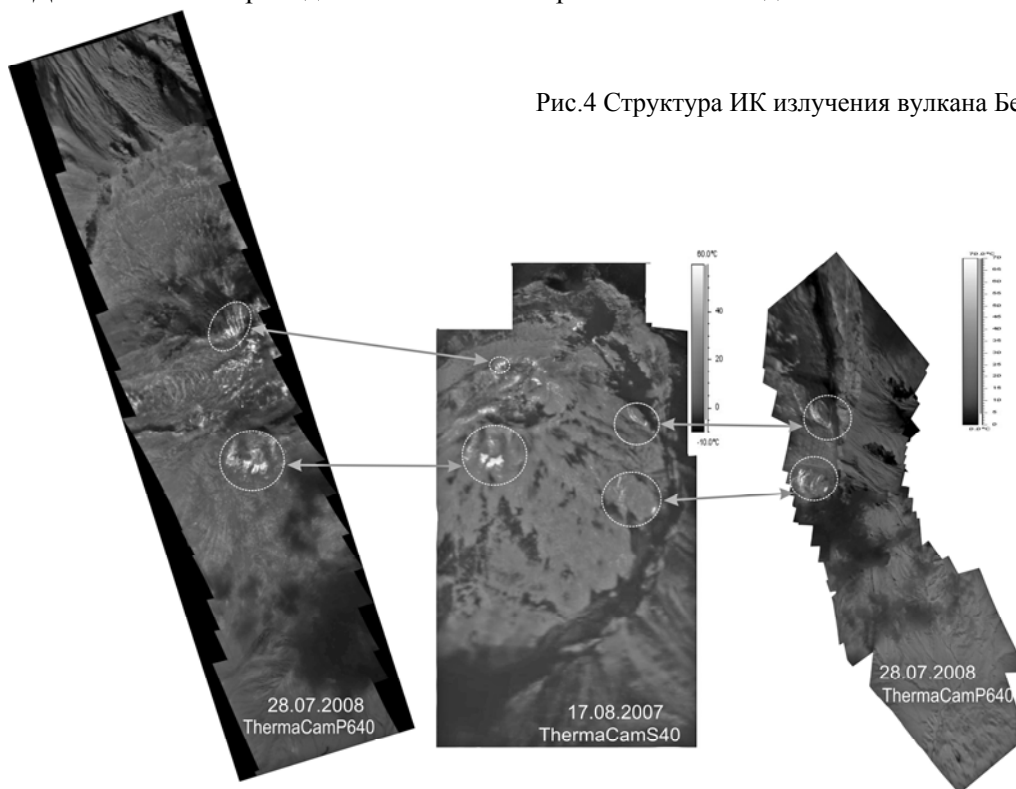


Рис.4 Структура ИК излучения вулкана Безымянный.

### Вулкан Горелый

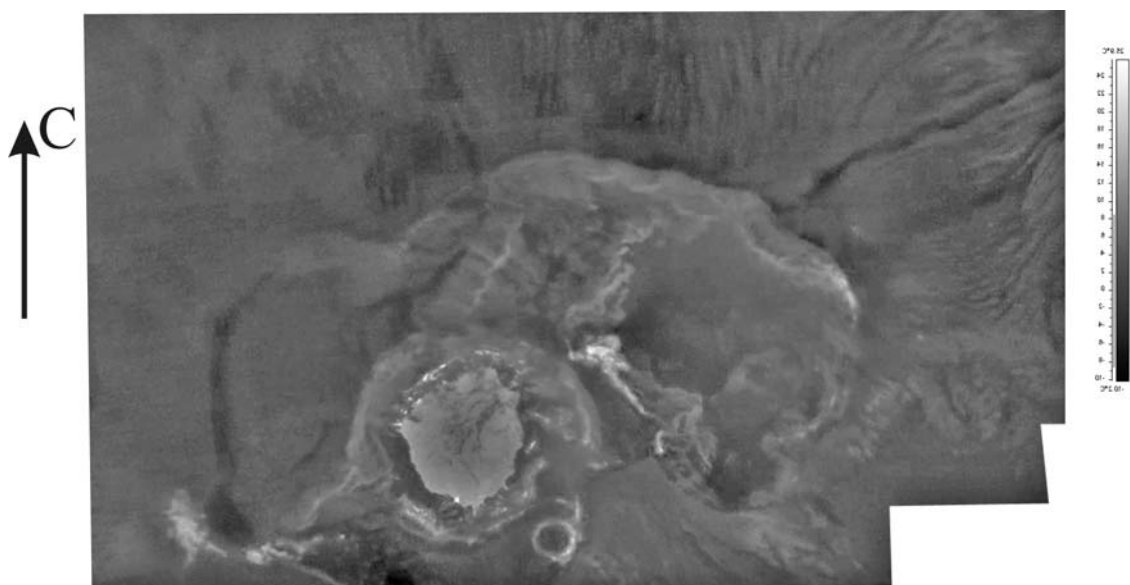


Рис.5 Структура ИК излучения вулкана Горелый.

Вулкан Горелый, по-видимому, единственный камчатский вулкан, для которого обычными наземными методами вулканологи обнаружили предваряющие и сопутствующие извержению термоаномалии, скорее всего, обусловленные газовыми эманациями. Эти аномалии, в основном приуроченные к гребням кратеров, описаны Кирсановым И.Т. [5] и Б.В. Ивановым [4] для извержений 1981 г. и 1984-1986 гг. Слежение за такими низко температурными аномалиями с помощью инфракрасной аппаратуры требует выполнение основного технического условия - выполнение съёмки в отсутствии солнечной инсоляции. Т.е. съёмки должны выполняться утром в

сумеречное время или при высокой плотной облачности. По сравнению с 1.08.2008 г., в 2009 г. для вулкана Горелый отмечено:

- температура поверхности озера уменьшилась с  $39^{\circ}\text{C}$  до  $30^{\circ}\text{C}$ ;
- повысилась Т фумаролы в южной части озера с 50 до  $130^{\circ}\text{C}$ ;
- повысилась температура аномалий северного борта с 68 до  $110^{\circ}\text{C}$ ;
- сохранилось местоположение донных источников в озере.

#### **Вулкан Корякский, динамика температур эруптивных шлейфов.**

Впервые тепловой съёмкой термоаномалия на Корякском вулкане была зафиксирована 4.07.94 с самолёта АН-30, комплексом Зима. Сравнение с термограммой за 15.05.08 позволяет сделать вывод, что с 1994 г. конфигурация термальных площадок на склоне вулкана не изменялась. С момента последнего извержения вулкана Корякский в 1956-1957 гг. на северо-западном склоне наблюдалась эпизодическая активизация фумарольной деятельности, как правило, в виде одной фумаролы с местом разгрузки в районе указанной термоаномалии. В декабре 2008 г. мощность разгрузки существенно возросла по сравнению с максимальной за предыдущий период. К концу декабря на северо-западной трещине на месте фумарольных выходов проработались три эруптивные жерла, и началось собственно извержение с формированием пеплогазового шлейфа.

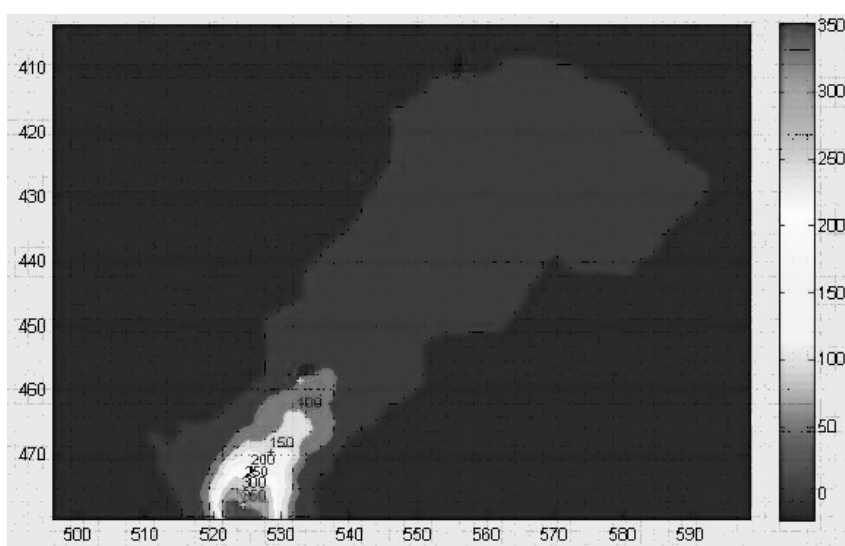


Рис. 6. Изолинии температур нижнего эруптивного шлейфа. Фрагмент термограммы (по осям координаты снимка в пикселах). Максимальная температура  $430^{\circ}\text{C}$ , угол раствора струи  $15^{\circ}$ , диаметр струи на выходе (по температуре  $100^{\circ}\text{C}$ ) 5м, длина участка интенсивного теплообмена 100-120 м.

Анализ видео изображений (снятых Сокоренко А.В) и термограмм выявил импульсный характер истечения. Истечение происходит в виде отдельных плюмов. Скорость подъема куполов плюмов составила 7 м/с. Импульсный характер прослеживается и на вертикальном участке термика, что позволило оценить скорость подъема термика в 5-7 м/с по прохождению температурной волны.

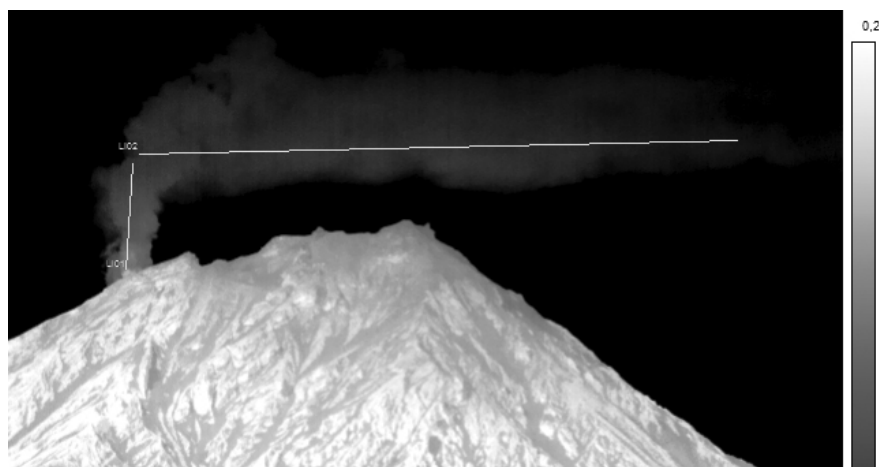


Рис. 7. Термограмма 10.01.09 с расстояния 29 км. Падение температуры в горизонтальной части шлейфа  $\Delta T=3^{\circ}\text{C}$ ; на вертикальном участке  $\Delta T=25-30^{\circ}\text{C}$ .

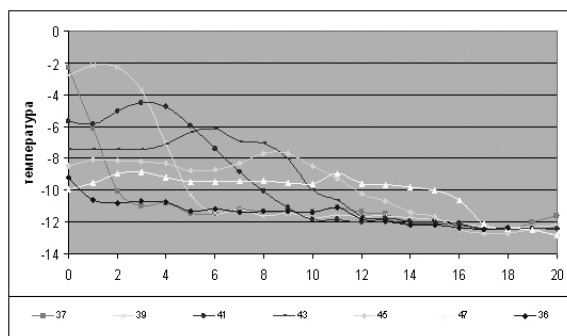


Рис. 8. Прохождение температурной волны в начале видимого вертикального участка шлейфа. По оси абсцисс пиксели (1 пиксель=7 м).

Принимая за начальную максимальное измеренное значение температуры в шлейфе -  $430^{\circ}\text{C}$ , из уравнения теплового баланса для сечения (диаметр 30 м) на переходе участка «интенсивного теплообмена» в термик получим расход перегретого пара  $Q=35$  кг/с и тепловую мощность струйного термика 140 мВт, общую массу водяного пара за время извержения (250 дней) – 106 т; энергию извержения - 300 Мдж.

Отметим, что на термограммах в течение извержения начальная термоаномалия не фиксируется, возможно, она перекрыта свежим пеплом.

#### Другие объекты.

Термограммой 18.08.2009 зафиксирована структура ИК излучения на вулкане Карымский после взрыва 15.08.09 с изменением морфологии кратера и образованием поле возгонов в привершинной области.

23.09.2009 максимальная температура на поверхности озера вулкана Малый Семячик  $30^{\circ}\text{C}$ , озеро цвета кофе с молоком.

Безинерционное измерение температуры (тепловизором) позволило показать, что температура при извержении нового гейзера Мутный в кальдере вулкана Узон [3] меньше температуры кипения..

#### Заключение.

Тепловизионные исследования предопределяют получение характеристик энергетики вулканического процесса. Концептуально вулканическая активность – это процесс выноса вещества недр Земли на поверхность, т.е. процесс выноса массы, обладающей повышенным теплосодержанием. В энергетике вулканических аппаратов в последние годы наметилась тенденция изучения процесса раздельного переноса массы и энергии, когда часть вещества задерживается на пути к поверхности, а её тепловая энергия выносится на поверхность циркулирующими метеорными водами. Подобные схемы выноса тепла и массы реализуются и в малых масштабах, внутри вулканических построек. Тепловые аномалии на постройках вулканов, обусловленные охлаждением материала внедрившегося (оставшегося) после предыдущих извержений, определены нами как инерционные. Выявление таких термоаномалий также является целью наших тепловизионных исследований. Процесс передачи тепла теплопроводностью происходит с очень малой скоростью. Появление термоаномалий, предвещающих извержение, скорее связано с деформационными процессами, раскрытием трещин, обнажением субповерхностных высокотемпературных структур или с конвективным выносом тепла газовыми эманациями, т.е. по сути уже с началом извержения.

#### Список литературы.

1. Гордеев Е.И., Дрознин В.А., Дубровская И.К., Муравьев Я.Д., Овсянников А.А. Корякский вулкан: современное состояние и активизация 2008-2009 гг. // Материалы 4 Всероссийского симпозиума по вулканологии и палеовулканологии. 22-27 сентября 2009 г., т.2., С.588-590.
2. Гордеев Е.И., Дрознин В.А. Температура эксплозивного шлейфа извержения вулкана Корякский в 2009 году // ДАН, 2010 430 №3, С.349-351.
3. Дрознин В.А. Новый гейзер на Узоне // Вестник КРАУНЦ. Серия: Науки о Земле, 2009, №2. Вып. 14, С.10-12.
4. Иванов Б.В. и др. Извержение вулкана Горелый в 1985г // Вулканология и сейсмология, 1988 г, №4, С.93-98.
5. Кирсанов И.Т., Озеров А.Ю. Состав продуктов и энергетический эффект извержения вулкана Горелый в 1980-1981гг. // Вулканология и сейсмология, 1983 г., №1, С.25-42.