

УДК 550.83.04

Е.И.ГОРДЕЕВ, В.А.ДРОЗНИН, И.К.ДУБРОВСКАЯ, Я.Д.МУРАВЬЕВ,
А.А.ОВСЯННИКОВ

Вулкан Корякский: современное состояние и активизация в 2008–2010 гг.

Представлены результаты изучения слабого взрывного газопеплового извержения влк. Корякский, происходившего с декабря 2008 г. по начало 2010 г. С учетом предыдущей аналогичной активизации в 1956–1957 гг. можно выделить отдельный фумарольный, или Корякский, тип извержения.

Ключевые слова: вулкан, извержение, вулканические газы, вулканический пепел, фумарола, ИК-съемка.

Volcan Koryaksky: the recent state and its activity 2008–2010. E.I.GORDEEV, V.A.DROZNIN, I.K.DUBROVSKAYA, Ya.D.MURAVYEV, A.A.OVSYANNIKOV (Institute of Volcanology and Seismology, FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky).

Presented the results of studying of the weak explosive gas-ashed eruption of the Volcano Koryak occurring since December, 2008 on the beginning of 2010. Based on the previous eruption of a volcano in 1956–1957, it is possible to allocate separate fumarolic or Koryak type of eruption.

Key words: volcano, eruption, volcanic gases, volcanic ash, fumarolla, infrared survey.

В настоящее время на Камчатке действующими считаются 30 вулканов. На постройках многих из них отмечаются термопроявления, но лишь на некоторых (Желтовский, Мутновский, Авачинский, Жупановский, Кизимен и Ичинский) постоянно действуют мощные фумаролы [5]. Время от времени усиление фумарольной деятельности происходит также на вулканах Горелый и Корякский. Активизации последнего в 2008–2010 гг. и посвящена данная работа.

Влк. Корякский (рис. 1) относится к крупнейшим вулканическим сооружениям на Камчатке и, как и влк. Авачинский, находится в непосредственной близости к наиболее населенной территории Камчатского края – Петропавловско-Елизовской городской агломерации. Последние эффузивные извержения, давшие большие лавовые потоки, происходили здесь 3–3,5 тыс. л.н. Современный кратер, заполненный ледником, расположен с западной стороны вершинного гребня [5]. Из него на южный склон вытекает небольшой молодой (по внешнему облику) лавовый поток.

Современные термопроявления приурочены к двум участкам постройки вулкана: вершинному кратеру и северо-западному склону. Наиболее мощные термальные поля прослеживаются вдоль грабенообразной трещины (рис. 2) на северо-западном склоне вулкана в пределах высот 2900–3100 м. По этой трещине с декабря 1956 по март 1957 г. происходило взрывное, преимущественно газовое, извержение [10, 14]. На трещине действовало более десяти взрывных жерл, мощные парогазовые выделения, слабо нагруженные

ГОРДЕЕВ Евгений Ильич – академик, директор, ДРОЗНИН Валерий Аркадьевич – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, ДУБРОВСКАЯ Ирина Константиновна – научный сотрудник, *МУРАВЬЕВ Ярослав Дмитриевич – кандидат географических наук, заместитель директора по научной работе, ОВСЯННИКОВ Александр Алексеевич – старший научный сотрудник (Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский). *E-mail: murjd@kscnet.ru



Рис. 1. Влк. Корякский – типичный стратовулкан раннечетвертичного возраста (абс. высота 3456 м), постройка которого сложена лавами андезитового и базальтового состава. 15 августа 2008 г. *Фото А.В.Сокоренко*



Рис. 2. Эксплозивные жерла извержения 2008–2010 гг. расположены на той же трещине, что и предшествующего извержения 1956–1957 гг. 4 марта 2009 г. *Фото А.В.Сокоренко*

пеплом, поднимались до 350 м. Выпадение незначительного количества резургентного пепла отмечено на площади 3–4 км².

Затем несколько десятилетий в пределах трещины эпизодически наблюдалось усиление фумарольной деятельности. Временами она отсутствовала. Согласно измерениям Ю.А.Тарана, температура на устье наиболее активной фумаролы в августе 1983 г. составляла 230°C [15], по нашим измерениям в июле 1994 г., не превышала 150°C.

Впервые тепловая инфракрасная аэросъемка (ИК-съемка) выполнена комплексом «Зима» 4 июля 1994 г. На снимках северо-западного склона получена поверхностная структура термальных полей, по результатам обработки которых тепловая мощность оценивалась в 15–20 МВт. Повторная ИК-съемка тепловизором «ThermaCam™ SC640» 15 мая 2008 г. показала идентичное распределение прогретых зон (рис. 3, см. с. 2 обложки). Проявлений фумарольной активности в последнем случае не отмечено.

Динамика извержения

Первые признаки активизации вулкана отмечены в конце октября 2008 г. по нарастанию фумарольной деятельности [1, 2, 4, 7, 12]. В конце декабря на северо-западной трещине на месте постоянных фумарольных выходов вскрылись три эруптивных жерла. Пеплогазовая колонна в зависимости от атмосферных условий поднималась до 300–500 м над вершиной и формировала эксплозивные шлейфы. С появлением пепловой нагрузки началось собственно извержение.

В дальнейшем извержение протекало с переменной активностью. Фаза максимальной эруптивной деятельности отмечена с марта по конец апреля 2009 г. Особенно значительное усиление извержения с формированием эруптивной тучи, нагруженной пеплом, происходило в первой декаде марта, а также 23 марта и 9 апреля. Умеренные пеплопады в основном распространялись в северном и восточном направлениях от вулкана.

С мая по сентябрь 2009 г. извержение в основном шло на убыль, но в начале июля и 15–19 августа эксплозивная деятельность резко усилилась, отмечался слабый пеплопад в южном и юго-западном направлениях, что вызывало беспокойство у населения. В начале сентября эруптивная деятельность снова ослабла, наблюдались парогазовые выделения с незначительной примесью мелкого пепла в шлейфе.

В общем извержение влк. Коряжский в 2008–2010 гг. можно характеризовать как слабое эксплозивное газопепловое. Подобную деятельность, учитывая аналогичную предыдущую активизацию в 1956–1957 гг., можно выделить в отдельный фумарольный, или Коряжский, тип извержения. Особенностью его стали необычно протяженные эруптивные шлейфы (до 600 км), что не соответствовало низкой тепловой мощности извержения.

Пепел

Пробы вулканического пепла отбирались в 5,5 км от центра извержения на северо-северо-западном склоне, где масса пепла составила 5,84 г/м², и в 2,5 км от жерла на северо-западном склоне с массой пепла 25,6 г/м². Пепел отбирался из снежного покрова вместе со снегом. При таянии поверхность талой воды в пробе покрывалась черной пеной, напоминающей пену грязевых котлов фумарольных площадок. При этом ощущался сильный запах эруптивных газов. В сухом состоянии пепел имел вид глиноподобной корки светло-серого цвета. По гранулометрическому составу он имеет алевритопелитовую размерность с содержанием фракции < 0,1 мм 85–91%.

Под микроскопом хорошо видно, что частицы пепла имеют округлую форму. Среди частиц присутствуют обломки окисленных пород, кристаллов плагиоклаза, пироксена, кристаллы сульфида железа (пирит) и других гидротермальных минералов. Кроме этого обнаружены необычные корочки, стяжения, облепленные мельчайшими разноцветными частицами.

По химическому составу пепел относится к дацитам с содержанием SiO₂ > 65,4%. До этого извержения самыми кислыми породами влк. Коряжский считались авгитовые андезиты с содержанием SiO₂ = 57,75 % [10]. Также отмечено высокое содержание серы (1,04%).

Учитывая гранулометрический состав пепла, необычный внешний вид частиц, наличие типичных гидротермальных минералов и значительного количества серы, необычно кислый

состав, большие потери при прокаливании, можно заключить, что пепел этого извержения был образован выносом измененных пород фумарольных полей и постройки вулкана. Соответственно, по своему происхождению этот пепел является резургентным.

Сейсмичность

Извержение влк. Корякский происходило на фоне сейсмической активизации, регистрируемой в виде небольших (не выше 8-го энергетического класса) землетрясений. По данным Камчатского филиала Геофизической службы (КФ ГС) РАН, землетрясения под вулканом начались в марте 2008 г., происходили при фумарольной и эруптивной деятельности и продолжались до конца августа 2009 г. Общее количество зарегистрированных землетрясений составило 2230. В основном гипоцентры землетрясений находились на глубинах 3–10 км под постройкой вулкана [13].

Предыдущая сейсмическая активизация под вулканом происходила весной 1994 г. С марта по май 1994 г. зарегистрировано около 100 землетрясений на глубинах 0–8 км. Кроме усиления деятельности фумарол сейсмическая активизация 1994 г. не сопровождалась другими внешними проявлениями вулканизма [3].

Эпицентры землетрясений образуют на глубинах до 5 км область субмеридиального простирания размером 12×4 км, несколько смещенную к северо-западу от вулкана.

Температура и скорость в шлейфе

Применение тепловизора¹ для аэросъемки позволило получить термограммы и построить распределение температур в эруптивном шлейфе (рис. 4). Максимальное значение измеренной прибором температуры составило 430°C, что существенно превышает данные 1983 г. (230°C) [15].

В результате обработки ИК-изображения в эруптивном облаке выделены три области. Начальная – интенсивного теплообмена, где температура падает на 400°C. Температура по оси шлейфа уменьшается с расстоянием по закону $T \sim x^{-0.7}$. Угол створа шлейфа 16°. Вторая область соответствует термику (вертикальный участок). В ней температура падает на 20°C. Третья область характеризуется горизонтальным шлейфом. В ней температура постепенно падает на 3°C до температуры атмосферы.

¹ В наблюдениях за активизацией вулкана применялся тепловизор высокого разрешения «ThermaCamTM SC640» (Швеция), который регистрирует мощность излучения в спектральном диапазоне 7,5–13 мкм на детектор с матрицей 640 x 480 пикселей с пространственным разрешением 1,3 мрад при объективе с фокусным расстоянием 19 мм, при объективе 40 мм – 0,66 мрад и при 130 мм – 0,18 мрад. Мощность регистрируемого излучения автоматически пересчитывалась в программе FLIR в значение температуры излучающей поверхности с учетом устанавливаемых величин: коэффициента излучения поверхности, расстояния до объекта, влажности и температуры атмосферы на трассе, отраженной температуры от сторонних источников излучения. Разрядность 14 бит. Чувствительность прибора 0,06°C при 30°C.

Мощность излучения регистрируется в трех диапазонах температур (абсолютного черного тела – АЧТ): –30...+150°C; 0–500°C; 300–1200°C и формируется в виде радиометрического jpg-файла. Сохранение радиометрической информации возможно в виде одиночного изображения с синхронным фотоснимком (фотосопровождением); последовательности (до 186 кадров) на тепловизор; видеопотока на компьютер с максимальной частотой 3 Гц.

Обработка изображений производится штатной программой ThermaCam Researcher Pro 2. Среди предлагаемых опций отметим возможность построения профилей температур, графиков изменения температур во времени, указание времени съемки (по часам тепловизора).

Технические условия при тепловизионном обследовании активных вулканов зачастую оказываются жесткими, так как не позволяют получить необходимого изображения за один маршрут. Приходится выполнять повторную съемку, чтобы охарактеризовать как структуру температурного фона (–20 ... +20°C), так и (синхронно) структуру аномалий (> 150 или > 500°C).

Во время полета проводилась запись GPS-трека для определения дистанции до объекта с целью расчета геометрических параметров объекта.

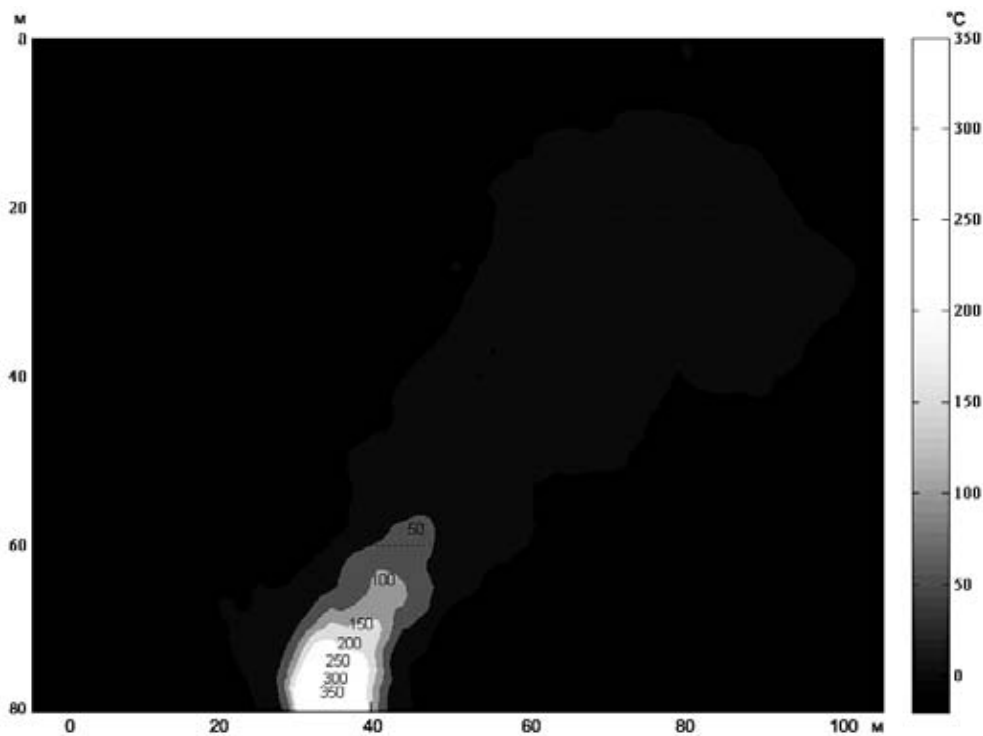


Рис. 4. Размер и распределение температур в эруптивном шлейфе. Максимальная зафиксированная температура – 430°C

Оказалось, что истечение перегретого пара при формировании шлейфа идет не стационарно, а отдельными пульсациями-плюмами. Из рис. 5 видно, что пульсации характеризуются всплесками максимальной температуры в области нижнего жерла. Изменения высот куполов плюма (рис. 6) определялись по видеосъемке; скорость подъема по этим данным составила 5–7 м/с. Этим значением можно характеризовать скорость в шлейфе на границе областей интенсивного теплообмена и термика. Скорость потока в шлейфе также оказалось возможным оценить на вертикальном участке в точке над склоном (рис. 7) по прохождению температурной волны. Ее значение составило 5 м/с.

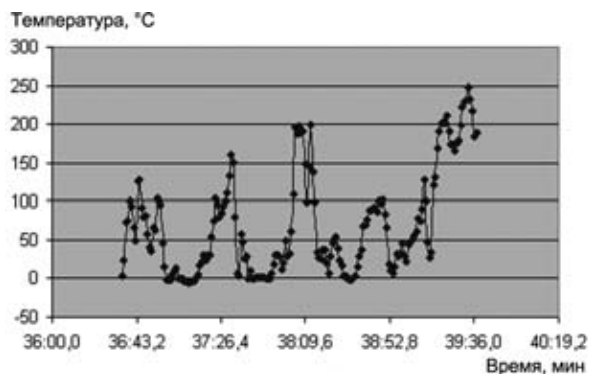


Рис. 5. Пульсации-плюмы характеризуются всплесками максимальной температуры в области нижнего жерла

Тепловая мощность вулкана в эруптивную фазу

В настоящее время для оценки тепловой мощности, продуцируемой вулканом в виде парогазового шлейфа, применяется методика, предложенная С.А.Федотовым [16]. По этой методике В.В.Иванов для периода извержения с декабря 2008 г. до начала июня 2009 г. оценил среднюю тепловую мощность в 400 МВт, а последующую

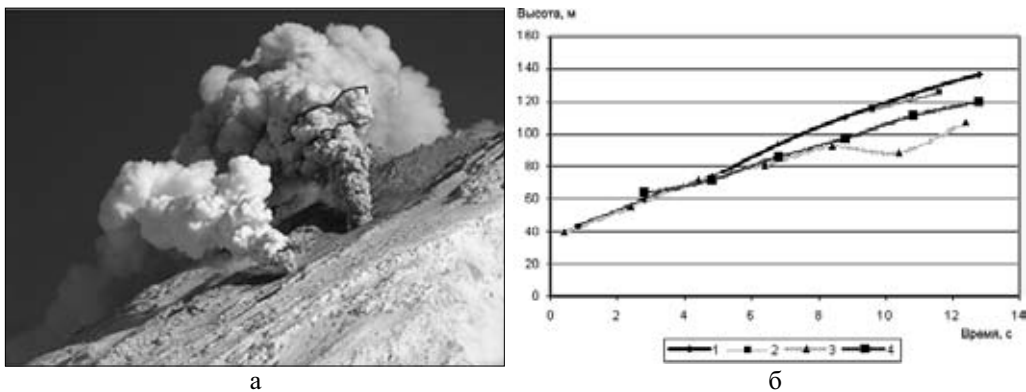


Рис. 6. Эруптивные шлейфы 4 марта 2009 г. (а) и изменение высот куполов плюмов (б): 1, 2 – нижний выход; 3, 4 – верхний



Рис. 7. Термограмма эруптивного облака: вертикальный и горизонтальный участки

активность – в 100–200 МВт (расчет усовершенствован, учтено изменение скорости ветра по высоте) [7].

Здесь следует заметить, что методика С.А.Федотова основана на теории развития термика в стратифицированной атмосфере при постоянной (горизонтальной) скорости ветра. Она была разработана для оценки мощности Большого трещинного Толбачинского извержения (БТТИ 1975–1976 гг.) и неоднократно применялась для оценки тепловой мощности других камчатских вулканов, в том числе для тепловой мощности парогазовых

шлейфов. С практической точки зрения необходимо отметить, что методика не доработана в плане определения расчетной высоты шлейфа. В нижней части эруптивной колонны (БТТИ) подъем струи происходил по инерции, ее свободное всплывание начиналось выше, так что высота свободного подъема была, соответственно, меньше [16]. Это значит, что расчетная высота шлейфа в формуле оценки энергии должна отсчитываться не от эруптивного жерла, а от уровня, где формирование шлейфа соответствует законам формирования термика. Заметим, что мощность пропорциональна расчетной высоте в третьей степени. Если для шлейфов влк. Корякский протяженность начального участка (интенсивного теплообмена) не превышает 100–200 м, то на БТТИ 1975–1976 гг., где, по наблюдениям, «раскаленная струя пирокластики стояла “свечой”, высота которой была 0,5–1,0 км, достигая иногда 2,5 км ... вулканические бомбы выбрасывались вверх на высоту до 2 км, изредка до 4 и более км» [16, с. 12], начальный участок существенно больше, соответственно, настолько расчетная высота должна быть меньше фактической высоты шлейфа.

Еще одна трудность практического применения методики [16] была описана при исследовании шлейфов влк. Авачинский [6], где показано, что условие горизонтального течения воздушных масс не выполняется при обтекании отдельно стоящих высоких конусов. Конфигурация парогазового шлейфа в большей степени трассирует потоки обтекания постройки вулкана, чем соответствует форме термика. Когда же фумаролы расположены не на вершине, как в случае влк. Корякский, потоки обтекания выражены еще более

наглядно. Учет наличия восходящих потоков в горах становится важным для практических расчетов. Именно существованием подобных потоков объясняется получение завышенных значений мощности и, следовательно, большой разброс значений мощности для одного вулкана, и выбор среднего значения некорректен.

В газопепловых шлейфах влк. Корякский по данным инфракрасной съемки удалось определить скорость и температуру, что позволило выполнить прямой расчет тепловой мощности извержения.

На границе областей интенсивного теплообмена и всплытия, где известно сечение шлейфа, можно записать уравнение теплового баланса, полагая, что извергаемый пар с массовым расходом Q кг/с, имеющий теплосодержание (при максимальной зарегистрированной температуре 430°C) $J = 3382$ кДж/кг · град, нагревает воздух (теплоемкость $C = 1$ кДж/кг · град, плотность $\gamma = 1,2$ кг/м³) на $\Delta T = 20^{\circ}\text{C}$, создавая поток, движущийся со скоростью $v = 7$ м/с и имеющий сечение $D = 30$ м. В результате определяются расход перегретого пара $Q = 35$ кг/с и тепловая мощность струйного термика 140 мВт. При расчете по этим оценкам общая масса водяного пара, поступившего на поверхность за время извержения, оценивается в 10^6 т. Энергия извержения составила $3 \cdot 10^9$ Дж.

Источник энергии

Вулканы называют курящими горами из-за клубящихся над ними паропепловых шлейфов. Естественно полагать, что источником пара является газ, отделяющийся от магмы. В большинстве случаев в межпароксизмальный период температура на выходе фумарол составляет 200°C , т.е. значительно меньше магматических $800\text{--}1100^{\circ}\text{C}$. Такое понижение температур не может происходить за счет потерь тепла при постоянном расходе на пути подъема и указывает на существенную долю метеорных вод в парогазовой эмиссии вулканов. Принципиальная схема разгрузки фумарольной активности, по-видимому, аналогична разгрузке геотермальных систем, где предполагается смешение эндогенного флюида с инфильтрационными метеорными водами. Температуры в недрах геотермальных систем не превышают $250\text{--}350^{\circ}\text{C}$ [8].

Расход флюида и геометрия его движения на вулканах обеспечивают существование «инерционных» фумарол, активность которых сохраняется и во время извержения. На действующем вулкане (эпизодически продуцирующем магму) в принципе не представляет труда найти источник тепла и массы для постоянной фумарольной активности [9]. В случае эпизодической активности, как на влк. Корякский, возникает вопрос об условиях накопления избыточной энергии. Реализация энергии может начинаться за счет эндогенных (тектонических) причин, но все равно обуславливается изменением распределения температур и давлений, накопленных за длительный период.

Схема процесса следующая. При вертикальной фильтрации теплоносителя в пористой среде [11] температура у верхней границы (при постоянном температурном напоре) со временем увеличивается и в слоях с водонасыщенными породами может достигать линии насыщения. Постепенно накапливается энергия, которая при декомпрессии может быть реализована в виде геотермального взрыва или истечения теплоносителя.

Выполним простой расчет объема породы при декомпрессии в пределах 10–100 бар, необходимого для продуцирования воды. Для определенности примем пористость равной 10%. Используя коэффициент сжимаемости воды, получим значение 2 ($10^4\text{--}10^5$). При массе воды 10^6 т (10^6 м³) получаем необходимый объем пород, насыщенных водой, в пределах 20–200 км³.

В целом извержение вулкана было слабым по энергетике и носило фреатический характер. При этом отмечались кратковременные усиления, которые заставляли оценивать степень опасности для окружающих территорий в случае развития извержения по более

неблагоприятному сценарию, так как извержение происходило в наиболее густо населенном районе Камчатского края.

О вулканической опасности

Помимо гипотетического обрушения постройки вулкана во время маловероятного катастрофического извержения наиболее опасным следствием его активности может быть формирование водных паводков и грязевых потоков (лахаров) на его склонах. Основным источником воды для подобных потоков являются запасы снега и льда на вулкане, которые могут быть вовлечены во взаимодействие с раскаленным изверженным материалом.

По данным о распределении снеготаяния на дату максимума в двух основных лахарообразующих бассейнах на южном склоне – рек Железная и Мутная (рис. 8) – в конце весны при умеренной активизации вулкана (например, при сходе пирокластических потоков из вершинного кратера объемом десятки–первые сотни тысяч кубических метров) возможно образование лахаров более 3 млн м³, что достаточно для их продвижения в долину р. Авача на 20–25 км.

Максимальный объем грязевых потоков в случае пароксизмального извержения вулкана в конце зимы мог составить 10–12 млн м³ в каждом из выделенных бассейнов рек, зарождающихся на его склонах, что достаточно для нанесения ущерба на большей части территорий дачной застройки и сельскохозяйственных угодий, расположенных на конусах выноса сухих рек Мутная, Железная и руч. Скрытый.

Так как в течение летнего сезона на склонах вулкана идет интенсивное снеготаяние, то несмотря на эпизодические снегопады в целом снижаются запасы воды, которая может включиться в формирование грязевых потоков. Соответственно, снижается и уровень лахароопасности.

Максимальный объем лахаров в конце весны может быть в 4–5 раз больше, чем в конце лета. Кроме того, в центральном кратере Корякского вулкана существуют запасы многолетних льдов (около 0,5 млн м³), и даже в маловодные годы их будет достаточно для формирования грязевого потока до 12–15 км в длину.

Во время извержения в результате ливневых осадков иногда сходили небольшие грязевые потоки, которые достигали территории дачной застройки, принося незначительный материальный ущерб для дорожных служб.

Усиление снеготаяния из-за снижения альбедо поверхности от пепла не должно приводить к образованию мощных грязевых потоков вследствие большого диапазона высот и, соответственно, быстрого снижения температуры воздуха с высотой, что не способствует значительному росту снеготаяния.

По аэрофотосъемочным и картографическим материалам определены основные лахароопасные направления вдоль юго-западного подножия вулкана: правые истоки р. Елизовская Сухая Речка, реки Мутная и Железная, руч. Скрытый. Кроме того, часть талого стока с западного склона постройки вулкана может поступать в р. Дремучая, которая является притоком р. Пиначева.

На основе рекогносцировочных оценок выделяются две зоны с разным уровнем лахароопасности (рис. 8).

Первая зона охватывает территорию до высот 200–250 м над у.м. радиусом 17–18 км от центрального кратера. В этой зоне грязевые потоки и водные паводки только выходят из зарегулированных русел водотоков, сохраняя высокую несущую способность и, соответственно, большой разрушительный потенциал. Даже при умеренном эксплозивном извержении для группы садово-огороднических товариществ, застраивающих верховья конусов выноса р. Железная и руч. Скрытый всего в 12–13 км от вершины вулкана, степень опасности высока в любое время года.

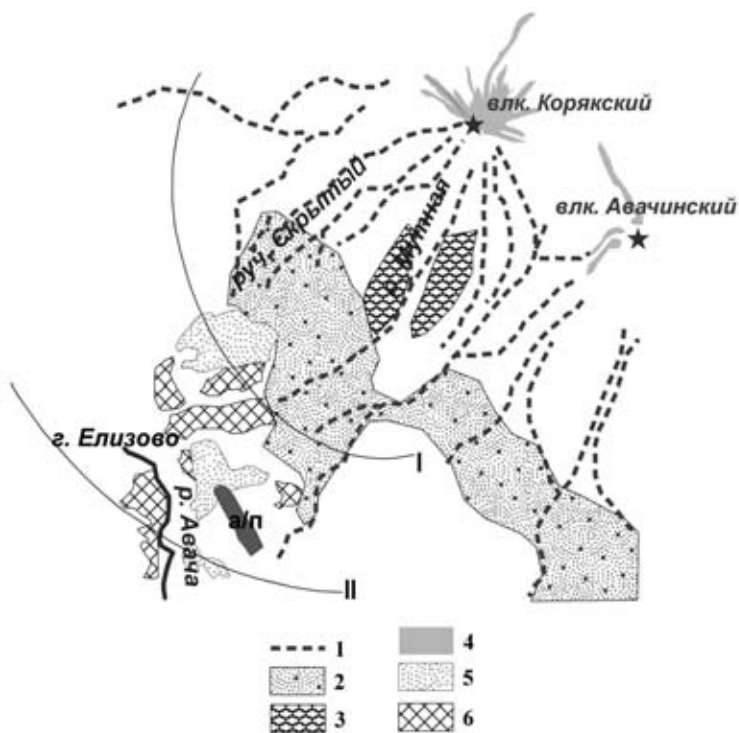


Рис. 8. Основные возможные направления схода водных паводков и лахаров при извержениях вул. Корякский: 1 – русла «сухих» рек и направления схода лахаров; 2 – отложения «сухих» рек; 3 – лавовые потоки вулкана; 4 – ледники и фирновые поля; 5 – сельскохозяйственные угодья; 6 – участки дачной застройки. I – зона распространения лахаров при умеренном межпароксизмальном извержении; II – при пароксизмальном извержении. Звездочки – кратеры вулканов

Вторая зона покрывает практически всю территорию до левого берега р. Авача на северо-восточной окраине г. Елизово, радиус ее около 25 км. При пароксизмальном извержении вулкана в зимнее время эта зона охватит большую часть площади дачной застройки и сельскохозяйственных угодий, включая территорию аэропорта и пригороды г. Елизово. Значительная опасность существует и для застроенных участков по берегам р. Пиначева.

Выводы

Извержение влк. Корякский в 2008–2010 гг. происходило в виде паро-пепловой эксплозии и сопровождалось мелкими землетрясениями (не более 8-го энергетического класса).

Применение тепловизора позволило измерить распределение температуры в шлейфе: максимальная – 430°C, падение ее по степенному закону (степень –0,7) на 400°C в области интенсивного теплообмена (100–120 м), затем на 20°C в области формирования термика и на 5–7°C на горизонтальном участке.

Найдены причины (особенности обтекания воздушными массами постройки вулкана и наличие области интенсивного теплообмена), ограничивающие применение методики Федотова [16] для расчета тепловой мощности.

Импульсный характер истечения (в форме отдельных плюмов) позволил оценить скорость подъема в термике (5–7 м/с) и выполнить расчет расхода перегретого пара ($Q = 35$ кг/с), тепловую мощность струйного термика (140 мВт), общую массу водяного пара за время извержения (10^6 т), энергию извержения ($3 \cdot 10^9$ Дж).

Изучение извержения показало, что питание фумарол и условия их разгрузки не всегда являются непосредственно эманацией вулканического газа, что требует дальнейшего более детального анализа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гирина О.А., Маневич А.Г., Мельников Д.В. и др. Активность вулкана Корякский с октября 2008 г. по октябрь 2009 г. по данным KVERT // *Материалы конф., посвящ. Дню вулканолога*, 30–31 марта 2009 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2010. С. 15–23. – http://www.kscnet.ru/ivs/publication/volc_day/2009/art2.pdf
2. Гордеев Е.И., Дрознин В.А., Дубровская И.К. и др. Корякский вулкан: современное состояние и активизация 2008–2009 гг. // *Материалы 4-го Всерос. симпоз. по вулканологии и палеовулканологии*, 22–27 сент. 2009 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2009. Т. 2. С. 588–590.
3. Гордеев Е.И., Сениюков С.Л. Сейсмическая активизация вулкана Корякский в 1994 г.: гибридные сейсмические события и их применение для оценки вулканической опасности // *Вулканология и сейсмология*. 1998. № 4/5. С. 112–126.
4. Гордеев Е.И., Дрознин В.А. Температура эксплозивного шлейфа извержения вулкана Корякский в 2009 году // *ДАН*. 2010. Т. 430, №3. С. 349–351.
5. Действующие вулканы Камчатки / под ред. С.А.Федотова М.: Наука, 1991. Т. 2. 416 с.
6. Дрознин В.А., Дубровская И.К. Фумарольная активность вулкана Авачинского в 2004–2005 гг. (Дистанционные измерения) // *Материалы Междунар. симпоз. по проблемам эксплозивного вулканизма*, 2006. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2006. С. 120–126.
7. Иванов В.В. Активизация вулкана Корякский (Камчатка) в конце 2008–начале 2009 г.: оценки выноса тепла и водного флюида, концептуальная модель подъема магмы и прогноз развития активизации // *Материалы конф., посвящ. Дню вулканолога*, 30–31 марта 2009 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2010. С. 24–38. – http://www.kscnet.ru/ivs/publication/volc_day/2009/art3.pdf
8. Кирюхин А.В., Кирюхин В.А., Манухин Ю.Ф. Гидрогеология вулканогенов. СПб.: Наука, 2010. 396 с.
9. Ковалёв Г.Н. Тепловая мощность гидротермальных систем и активных вулканов // *ДАН*. 1969. Т. 186, № 4. С. 814–816.
10. Маренина Т.Ю., Сирин А.Н., Тимербаева К.М. Корякский вулкан на Камчатке. // *Тр. лаб. вулканологии*. 1962. Вып. 22. С. 57–130.
11. Огильви Н.А. Вопросы теории геотемпературных полей в приложении к геотермическим методам разведки подземных вод // *Проблемы геотермии и практического использования тепла Земли*. М.: Изд-во АН СССР, 1959. Т. 1. С. 53–85.
12. Селивёрстов Н.И. Активизация вулкана Корякский на Камчатке // *Вестн. КРАУНЦ. Науки о Земле*. 2009. № 1, вып. 13. С. 7–9.
13. Сениюков С.Л., Нуждина И.Н. Сейсмичность вулкана Корякский в 1966–2009 гг. // *Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России: тр. 2-й регион. науч.-техн. конф.* Петропавловск-Камчатский, 2010. С. 91–95.
14. Сирин А.Н., Тимербаева К.М. Извержение Корякского вулкана 1956–1957 гг. // *Бюл. вулканол. станций*. 1959. № 28. С. 3–20.
15. Таран Ю.А. Фумарольная деятельность Корякского вулкана в 1983 г. // *Вулканология и сейсмология*. 1985. № 3. С. 82–85.
16. Федотов С.А. Оценки выноса тепла и пирокластики вулканическими извержениями и фумаролами по высоте их струй и облаков // *Вулканология и сейсмология*. 1982. № 4. С. 3–28.