

УДК 550.21

ЗАГРЯЗНЕННАЯ* СВЕЖЕВЫПАВШЕЙ ТЕФРОЙ ВОДА КАК ФАКТОР ПРИРОДНОЙ ОПАСНОСТИ (на примере извержения вулкана Корякский, Камчатка, в 2008–2009 гг.)

© 2011 г. И. В. Мелекесцев, Е. В. Карташева, Т. П. Кирсанова, А. А. Кузьмина

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН

683006 Петропавловск-Камчатский, бульвар Пийна, 9, e-mail: annasm@rscnet.ru

Поступила в редакцию 12.01.2009 г.

Впервые показано, на примере продолжавшегося в 2009 г. (начало в декабре 2008 г.) извержения вулкана Корякский на Камчатке, что загрязненная свежесвыпавшей тефрой вода постоянных и временных водо-токов, которые начинаются на склонах его конуса, и временных озер является одним из специфических факторов опасности, связанных с продолжительными гидротермально-фреатическими извержениями этого вулкана. Вода характеризуется повышенной кислотностью (рН 4.1–4.35) и большим количеством (до 50–100 см³/л) твердой взвеси, непригодна для питья и полива сельхозугодий, а совместно с тефрой она, вероятно, привела и к массовой гибели ряда животных, обитавших на склонах и подножии вулкана. Загрязненная тефрой вода – важная составляющая атмосферных селей, возникающих на вулкане Корякский, а в ближайшей перспективе – потенциальный источник для увеличения кислотности грунто-вых вод его постройки.

ВВЕДЕНИЕ

Действующий вулкан Корякский (53°17' с.ш., 158°54' в.д., абс. высота вершины 3456 м) (рис. 1) на Камчатке – ближайший (в 25–26 км к СВ) к г. Елизово, второму по численности населения в Камчатском крае. Еще ближе (24–25 км к СВ) к нему расположен международный аэропорт Елизово. В пределах юго-западного и южного секторов подножия вулкана находятся многочисленные садово-огородные товарищества (СОТы), а также проходит конечная часть трассы строящегося газопровода краевого значения: от Кшукского месторождения на Западной Камчатке до г. Петропавловск-Камчатский. До них от кратера вулкана всего 15–20 км. Причем сам вулкан Корякский многими исследователями [Маренина и др., 1962; Масуренков и др., 1991; Мелекесцев, 1996; Мелекесцев, 2009 и др.] считается потенциально очень опасным. Поэтому любые данные об уже известных или других возможных видах вулканической опасности, прочих опасных явлений и процессов от его извержений имеют не только теоретическое, но и важное практическое значение. Чем больше будет объем комплекса таких данных, тем точнее можно спрогнозировать опасные последствия от предстоящих извержений и минимизировать связанный с ними ущерб для населения и хозяйственных объектов, приближенных к вулкану.

* Под загрязнением понимается обогащение в районе постройки вулкана Корякский (зоне наиболее интенсивных и частых пеплопадов 2008–2009 гг.) дождевой и талой воды, а также воды рек, ручьев, “сухих” рек, озер вымытыми и выщелоченными из свежесвыпавшего вулканического пепла компонентами и самим (в виде твердой взвеси) пеплом.

Сведений же о вулканической опасности от извержений Корякского вулкана или процессов и явлений, непосредственно с ними связанных, очень мало. Объясняется это двумя главными причинами. Во-первых, тем, что в XVIII–XIX вв. вулкан проявлял весьма слабую активность: даже умеренных по силе извержений не происходило, а фумарольная активность случалась эпизодически через большие промежутки времени. Поэтому первые исследователи Камчатки С.П. Крашенинников [1994] и Г.В. Стеллер [1999] вообще не относили Корякский вулкан ни к “огнедышащим” – извергающимся, ни к “курящимся”, проявлявшим в первую половину XVIII в. заметную фумарольную активность. Признаки последней обнаружил там лишь в 1827–1828 гг. А. Постельс [1836]: “немного дыма” на северном склоне. Но даже позднее К. фон Дитмар [1901] предполагал, что вулкан Корякский – потухший, так как за время своих наблюдений (1851–1855 гг.) ни разу не замечал следов его деятельности и не мог найти указаний об этом у других исследователей, хотя его знакомый (тайон деревни Авача) и утверждал, что из кратера вулкана иногда выходит немного дыма.

Первые убедительные доказательства активности Корякского вулкана в 90-х годах XIX в. привел В. Маргаритов. По его данным, немного ниже вершины вулкана Корякский на юго-западной стороне возникла трещина, из которой “... выходит водяной пар непрерывной и сравнительно тонкой струей” [Маргаритов, 1899, с. 54]. Вполне вероятно, что она появилась в 1894–1895 гг. как реакция на сильное субсинхронное извержение соседнего вулкана Ава-



Рис. 1. Вулкан Корякский в начале извержения (28.12.2008 г.). Вид с юга. Фото А.Ф. Дьякова.

чинский, поскольку в XIX–XX веках, начиная с 1827 г., почти каждое мощное извержение последнего сопровождалось усилением фумарольной деятельности Корякского вулкана [Мелекесцев, 2009].

Первое известное историческое извержение вулкана Корякский зафиксировано [Новограбленов, 1926] 22 декабря 1926 г., когда в 15 ч 30 мин местного времени вулкан выбросил черный столб газов из кратера западной вершины, а от выпавшего из эруптивного облака пепла почернел снег на склонах конуса. Подобное событие, вероятно, следует классифицировать как слабое фреатическое извержение.

Позднее, до конца 1956 г., в течение 30 лет вулкан проявлял эпизодически лишь слабую фумарольную активность [Маренина и др., 1962].

Единственное, сравнительно детально изученное извержение вулкана Корякский, его продукты и виды вулканической опасности, произошло в 1956–1957 гг. Начало извержения зафиксировано Г.С. Горшковым [1958] во время авиаоблета в конце декабря 1956 г., ход извержения с 20 января по 15 марта наблюдал А.Н. Сирин, а изверженные продукты исследовала К.М. Тимербаева [Сирин и др., 1959]. По их данным, извержение было слабым фреатическим, а незначительную опасность представляли небольшие пеплопады на расстоянии до 20–30 км от эруптивного центра и короткие лахары в привершинной части СЗ сектора конуса. Площадь, одновременно покрытая пеплом, не превышала 3–4 км². Средняя высота выбросов при взрывах была 150–200 м (максимальная до 350 м) над жерлом, скорость выбросов – от 40–50 до 150 м/с. Каждая эксплозивная серия состояла из 3–4 взрывов с интервалами между ними до 30 мин.

Взрывы в вершинном кратере были субвертикальными, в пределах трещины – наклонными. В последнем случае газовое облако после 1–2 с задержки начинало скользить вниз по склону конуса со ско-

ростью до 30–35 м/с на расстояние 500–700 м. Спустя 10–15 с после взрыва, частицы пепла из эруптивного облака полностью оседали, а газы рассеивались [Сирин и др., 1959].

Таким образом, во время исторических извержений XIX–XX вв. вулкана Корякский были отмечены только три вида связанной с ними опасности: слабые фреатические взрывы, небольшие пеплопады и короткие лахары.

Во-вторых, неполнота данных о других видах опасности от доисторических извержений вулкана обусловлена недостаточной изученностью его эруптивной активности за последние тысячелетия. Так, по материалам опубликованных работ [Маренина и др., 1962; Масуренков и др., 1991 и др.], где рассматриваются геологическое строение и история формирования вулкана Корякский в голоцене (по современным представлениям – последние 11500–11600 лет), к видам опасности исторического времени можно дополнительно добавить только опасность от лавовых потоков и катастрофических лахаров.

Продолжающееся же извержение 2008–2009 гг. дало возможность уточнить его тип, а также выделить и описать (см. разделы 1, 2) еще один, ранее неизвестный, вид опасности от извержений Корякского вулкана – сильно загрязненные свежеснеговой тефрой воды постоянных и временных водотоков, которые начинаются на его склонах и текут по юго-западному и южному секторам подножия вулкана, в пределах освоенных и заселенных территорий, и временных озер и луж в истоках этих водотоков. Материал для оценки этого вида опасности был собран И.В. Мелекесцевым и его коллегами во время полевых исследований извергающегося Корякского вулкана летом 2009 г., а пробы воды и твердого осадка проанализированы Е.В. Карташевой, С.В. Сергеевой и А.А. Кузьми-

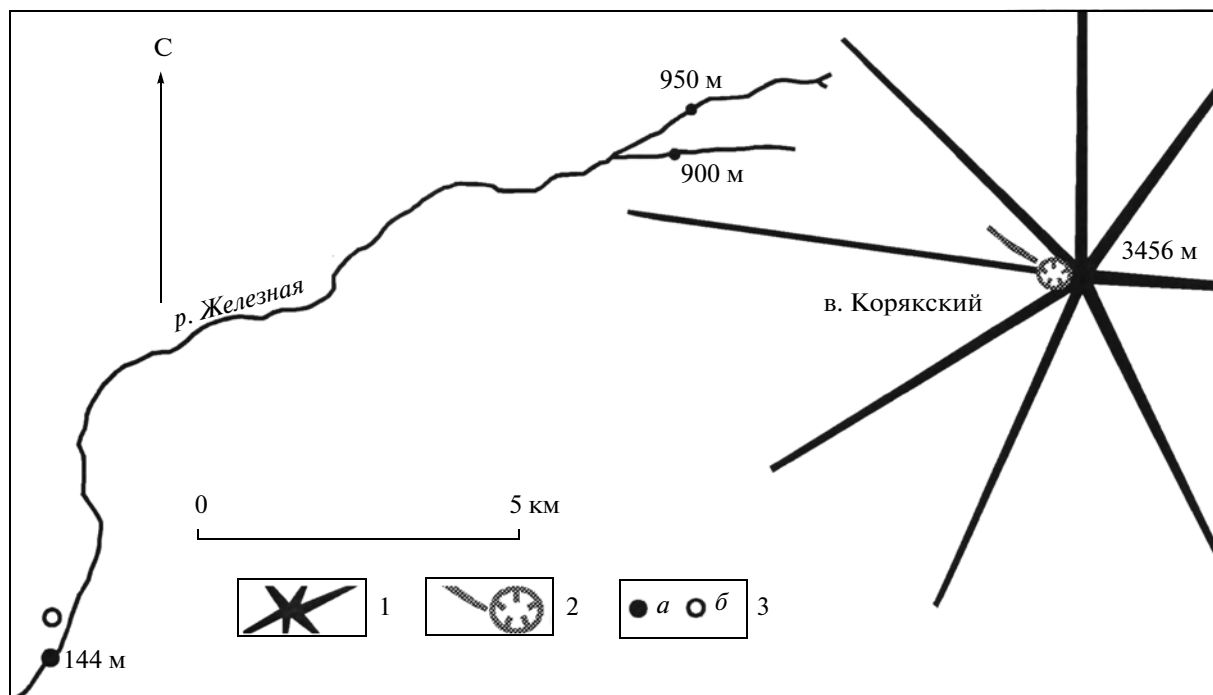


Рис. 2. Схема точек отбора проб воды в р. Железная и ее левом притоке.

1 – постройка вулкана Корякский; 2 – западный кратер и эруптивная трещина 1956–1957 и 2008–2009 гг. извержений вулкана Корякский; 3 – точки отбора проб воды (а) и скважина (б) в СОТе “Шивелуч”.

ной в Аналитическом центре Института вулканологии и сейсмологии (ИВиС) ДВО РАН.

Пробы воды отбирались в пластиковые емкости объемом 1.5 л в трех пунктах (рис. 2): из русла р. Железная в СОТе “Шивелуч” (отметка уреза 144 м), в ее среднем течении; в верхнем течении реки (отметка уреза 900 м) и из русла левого притока р. Железная (отметка уреза 900 м). Для сравнения была отобрана проба воды из скважины глубиной 110 м в СОТе “Шивелуч”, пробуренной до абсолютной отметки ≈ 79 м, т.е. на 65 м ниже уреза р. Железная в этом СОТе.

Проведено определение анионно-катионного макросостава и содержания ряда микрокомпонентов. Специальное консервирование образцов для определения микроэлементов не использовалось. Поэтому возможно частичное осаждение тяжелых металлов из исследуемого объема в осадок и на стенки сосуда. Выполнен анализ твердой фазы, содержащейся в пробах. После декантирования и высушивания определена массовая доля твердой пепловой фазы и из этого материала были изготовлены прессованные излучатели для рентгенофлуоресцентного анализа. Для сравнения приведены результаты анализа свежесвыпавших пеплов Корякского вулкана, чтобы проследить, какими элементами обогащается вода природного источника в процессе выщелачивания вулканического пепла.

Проведение подобного комплекса аналитических исследований обусловлено, прежде всего, тем,

что состав природных поверхностных и подземных вод – важнейший геохимико-экологический фактор, так как геохимические свойства воды оказывают прямое биохимическое воздействие на все живое, а также на организм человека, его физиологические функции [Крайнов и др., 2004; Фомин, 1995]. В окрестностях же действующих вулканов такая необходимость еще более оправдана, поскольку здесь поверхностные и грунтовые воды испытывают прямое воздействие вулканических извержений и их последствий.

ОСОБЕННОСТИ ИЗВЕРЖЕНИЯ ВУЛКАНА КОРЯКСКИЙ В 2008-2009 ГГ.

Первое в XXI в. извержение Корякского вулкана началось в самом конце декабря 2008 г. после почти 52-летнего периода относительного покоя и продолжается до настоящего времени (сентябрь 2009 г.). В принципе, оно не было полностью неожиданным, так как предварялось с весны 2008 г. заметной сейсмической подготовкой в окрестностях вулкана и под ним, зафиксированной сотрудниками Камчатского отделения Геофизической службы РАН [Koryaksky ..., 2009]. Она началась в конце марта – первых числах апреля роем землетрясений ($K_s = 3.5-7.8$) на глубинах 4–10 км ниже уровня моря в 8-километровой субмеридиональной зоне как севернее вулкана Корякский, так и под его северным склоном. С середины июня 2008 г. слабые



Рис. 3. Три эруптивных жерла в СЗ секторе вершинной части вулкана Корякский в январе 2009 г. Фото А.В. Сокоренко.

сейсмические события стали фиксироваться и под самим вулканом. Они усилились в октябре субсинхронно с активизацией фумарольной деятельности вулкана. Первые признаки появления примеси пепла в эруптивном шлейфе стали заметны с 24 декабря 2008 г. Эту дату, вероятно, и следует считать началом описываемого извержения.

Однако необходимо отметить, что повышенная слабая сейсмичность в окрестностях вулкана Корякский и под ним однозначным прогностическим признаком подготовки его извержения служить не может. Так было, например, в 1994 г., когда подобная повышенная сейсмичность в районе вулкана к его извержению не привела.

Эруптивные центры извержения 2008–2009 гг. были приурочены к 500–600-метровой системе трещин, ориентированных вниз по склону в СЗ секторе привершинной части конуса вулкана, в интервале абсолютных высот от 3000 до 2700 м. Это была та же система трещин, которая “работала” в 1956–1957 гг. во время прошлого извержения. Только тогда в пароксизмальную фазу извержения, в январе 1957 г., эруптивные центры располагались вдоль всей трещинной зоны, и их насчитывалось не менее 10, в январе же 2009 г. их было 3 (рис. 3), а затем стало 2, на абсолютных отметках 2980 и 2745 м (по измерениям А.В. Сокоренко и Н.В. Горбач 01.08.2009 г.). Первые пеплопады начались 28 декабря 2008 г. и продолжались с разной интенсивностью и частотой весной и летом 2009 г. Наиболее свежий пеплопад происходил в течение нескольких дней во второй половине августа 2009 г. Зоны пеплопадов, как правило, не выходили далеко за пределы постройки вулкана Корякский, а их максимальная длина не превышала 15–20 км. В более редких случаях длина зон пеплопадов достигала 30–40 км. Однако по данным группы KVERT (Kamchatkan Volcanic Eruption

Response Team) ИВиС ДВО РАН, анализировавшей спутниковые изображения с космических аппаратов TERRA, NOAA и MTSAT, аэрозольные шлейфы с повышенным содержанием SO_2 протягивались на расстояние до более 220 км от Корякского вулкана [Koryaksky ..., 2009]. Отличительная особенность извержения за все время визуальных наблюдений – отсутствие мощных взрывов. Но и более слабые взрывы, вероятно, происходили лишь в самой начальной фазе извержения, когда вулкан был закрыт облаками и оказался недоступным для проведения наблюдений. В остальное время из жерл с огромной скоростью выдувались паровые и парогазовые струи с примесью пепловых частиц. В январе 2009 г., когда были активны 3 жерла (см. рис. 3), вулканический пепел выбрасывался только из верхнего жерла. Причем, его концентрация в парогазовой струе изменялась в очень широких пределах, что было хорошо заметно по изменению цвета эруптивного облака: от светло-светло-серого, почти белого (при малой концентрации частиц пепла), до темно-серого (при резком увеличении в ней доли пепла). Соответствующим образом изменялись интенсивность и дальность выпадения тefры. Однако во всех случаях интенсивность индивидуальных пеплопадов оставалась весьма низкой, а мощность выпавшей тefры на удалении 10–20 км от эруптивных центров измерялась долями миллиметра, еще дальше на подстилающей поверхности фиксировался лишь налет очень мелкодисперсной тefры, вообще не образующей сплошного слоя. По данным [Овсянников и др., 2009], в январе 2009 г. на ССЗ склоне вулкана Корякский вес пепла составил 5.84 г/м^2 в 5.5 км от эруптивного центра, а на СЗ склоне, в 2.5 км от эруптивного центра – 25.55 г/м^2 . При обычном для свежавыпавших камчатских пеплов объеме (0.6–1.2 г/см^3) толщина слоя пепла в первом случае составила бы порядка 0.005–0.010 мм, во вто-

ром – 0.020–0.040 мм (оценка И.В. Мелекесцева). По гранулометрии тефра была алевропелитовой с содержанием фракций <0.1 мм от 91 до 85%, соответственно [Овсянников и др., 2009]. Только на главной вершине вулкана Корякский поднявшиеся туда альпинисты обнаружили пачку тефры, смешанной со снегом, мощностью 4–5 см (устное сообщение О.А. Гириной). В течение какого времени, сколькими пеплопадами она образована, неизвестно.

В ЗСЗ секторе подножия (абс. высота 950 м, ≈5 км от эруптивного центра) вулкана Корякский суммарная мощность тонкой алевропелитовой тефры, которая выпала в январе–июне 2009 г., вытаявшей из снежника и отложенной на плоской поверхности каменных глыб, варьировала, по измерениям И.В. Мелекесцева, от 0.5 до 1.5 см.

После января, когда активных жерл осталось 2, пепел по-прежнему выбрасывался лишь из верхнего жерла тоже эпизодически, с интервалами между выбросами пепла от нескольких дней до одного месяца. Наблюдавшаяся динамика эпизодов пепловых выбросов в ходе извержения (более длительные и частые в начальной фазе, более короткие и редкие – в последующих) позволяет предполагать, что в первые 1–2 месяца происходила главная прочистка (проработка) подводящих каналов трещинной зоны по всей их длине, а потом – отдельных их участков, заваленных или закупоренных уже в ходе продолжающегося извержения.

По очень приблизительной оценке (из-за ограниченного количества точек наблюдения) И.В. Мелекесцева, суммарный объем вынесенного в ходе извержения пепла (декабрь 2008 г.–сентябрь 2009 г.) не превышает 0.5–1 млн м³. При пересчете на плотность пород постройки ($\rho = 2.0–2.5$ г/см³), это составит примерно 0.35 млн м³.

Во время “спокойных” интервалов между выбросами пепла, когда мощность извержения ослабевала (например, в июле 2009 г.) часто было хорошо видно, что из жерла выходят две несмешивающиеся струи – паровая (белая, непрозрачная) и газовая (голубоватая и почти прозрачная). Выходящий пар скоро рассеивался в воздухе, а газ в виде четкого выраженного шлейфа уносился в направлении ветра. Иногда вынос пара вообще не наблюдался, а выходил только газ.

Специфической чертой тефры извержения 2008–2009 гг. в течение всего времени оставался ее неизменный облик. Она была очень мелкодисперсной (алевропелитовой с небольшой примесью тонкозернистого и мелкозернистого песка) и вблизи эруптивного центра, и на удалении от него до 15–20 км, где ее можно было еще чисто отобрать. Неизменным был и химический состав тефры (табл. 1) в ходе извержения (с конца декабря 2008 г. по сентябрь 2009 г.). Такой же состав имела и тефра, которая в виде взвеси находилась в воде рек и ручьев, начинающихся на вулкане Корякский (см. табл. 1). По содержанию SiO₂ (64.34–64.46%) в проанализированных образцах тефры, пересчитан-

Таблица 1. Химический состав и содержание (PPM) редких элементов в тефре извержения 2008–2009 гг. и твердой взвеси в воде

Компоненты	Тефра		Взвесь в воде	
	М-2	М-3	950 м	900 м
SiO ₂	63.10	62.40	64.40	63.84
TiO ₂	0.842	0.802	0.796	0.749
Al ₂ O ₃	13.10	13.20	15.60	15.43
Fe ₂ O ₃ + FeO	7.05	7.43	6.65	6.83
MnO	0.148	0.115	0.077	0.074
CaO	5.64	5.49	4.69	4.24
MgO	3.63	2.79	2.46	2.76
Na ₂ O	2.43	2.37	2.45	2.42
K ₂ O	1.23	1.26	1.21	1.25
P ₂ O ₅	0.168	0.173	0.192	0.196
Ппп	2.00	2.52	–	–
S	0.938	1.03	1.30	0.534
F	0.0306	0.0297	0.033	0.072
Σ	99.97	99.95	99.86	98.40
Sc	27	29	24	24
V	205	195	162	157
Cr	35	34	29	33
Ni	12	14	6.3	0
Cu	79	82	40	20
Zn	103	103	59	30
As	9	4	13	5
Rb	20	18	16	4
Sr	428	379	447	154
Y	30	26	17	18
Zr	108	95	105	41
Nb	2	2	2	3
Mo	0	0	4	4
Ba	549	549	526	535
La	7	2	5	4
Ce	59	60	24	26
Pb	22	17	23	21
Th	5	4	3	3

Примечание. М-2, М-3 – тефра из коллекции А.П. Максимова (декабрь 2008–январь 2009 гг.); 950 м (17.07.2009) и 900 м (18.07.2009) – твердая взвесь из воды р. Железная и ее притока. Анализы выполнены в Аналитическом центре ИВиС ДВО РАН методом рентгенофлуоресцентной спектрометрии. Аналитики Е.В. Карташева, С.В. Сергеева и Н.И. Чеброва.

ных на безводность, и за вычетом серы и фтора, она формально соответствует дациту. Однако морфология и минеральный состав частиц тефры этому явно противоречат. По [Овсянников и др., 2009], частицы пепла имеют преимущественно округлую форму и представлены обломками пород, кристаллов плагиоклаза, пироксена, пирита и других минералов гидротермального происхождения. Встречены также необычные корочки неизвестного состава и стяжения, облепленные мельчайшими разноцветными частицами. Характерно высокое $\approx 1\%$ содержание серы. Наличие кристаллов пирита и присутствие других минералов гидротермального происхождения в этой тефре – достаточно четкий критерий того, что тефра извержения 2008–2009 г. вулкана Корякский не является ювенильной.

Обращает внимание и весьма высокое, необычное для вулкана Корякский, содержание в рассматриваемой тефре SiO_2 , которое ни в породах постройки самого вулкана, ни в лавовых потоках подножия конуса, а также в достоверных горизонтах тефры его более ранних извержений никем не было отмечено. По данным [Маренина и др., 1962; Масуренков и др., 1991 и др.], оно нигде не превышает 57–58%. Однако повышенное содержание SiO_2 в тефре 2008–2009 г. может быть объяснено присутствием в ее составе значительной примеси, по результатам рентгеновского анализа (устное сообщение Л.П. Вергасовой), частиц аморфного кремнезема.

Каков генезис этого кремнезема, и как он оказался в составе тефры, пока точно неизвестно. Можно предполагать только, что он, наиболее вероятно, выделился из высокотемпературного гидротермального флюида. Источником флюида может быть гидротермальная система, приуроченная к обширной вулcano-тектонической структуре, которая разными исследователями называется по-разному: Авачинским грабеном [Мороз, 2009 и др.], термальным рифтом [Масуренков и др., 1991], а И.В. Мелекесцевым – гигантской кальдерой (кальдерным комплексом) типа Кракатау. Именно в ней расположены и действующий позднеплейстоцено-голоценовый вулкан Корякский, и давно прекративший активность вулканический массив Арик-Ааг, сформированный в среднем–начале верхнего плейстоцена, породы которого служат фундаментом постройки Корякского вулкана. Контакт пород массива Арик-Ааг и вулкана Корякский на перевале между ними наблюдается на абсолютной высоте 1540 м. Основание же центральной части конуса вулкана Корякский, по графическим построениям И.В. Мелекесцева, находится, предположительно, на абсолютных отметках от 0 до 500 м, а дно кальдеры – на 1000–2000 м ниже уровня моря. Следовательно, можно допустить, что максимальная длина подводящего канала рассматриваемого извержения должна быть порядка 4–4.5 км (от +3000 м до –1500 м).

По [Мороз, 2009], названная вулcano-тектоническая структура заполнена отложениями повышенной электропроводности из-за наличия там гидротермальных растворов и пониженной плотности, которая обусловлена, по представлению И.В. Мелекесцева, происхождением этих отложений. Они являются, во всей видимости, пропитанными высокотемпературными минерализованными растворами внутрикальдерными пирокластическими толщами (пемзами и пемзовидными породами) кальдерообразующих извержений, имеющих андезитовый и более кислый состав. В работе [Мороз, 2009] даже рекомендуется бурение в этой структуре скважин глубиной 4 км, чтобы оценить перспективность предполагаемого гидротермального месторождения. Положение дна кальдеры под вулканом Корякский ниже уровня моря хорошо согласуется с результатом опробования его фумарольных газов, отобранных в 1983 г. [Таран, 1985]. Показано, что изотопный состав газов этих фумарол по содержанию дейтерия явно тяготеет к составам так называемых метаморфических или морских вод, измененных высокотемпературным взаимодействием с породой и смешанных с метеорными водами.

Как происходит накопление кремнезема в гидротермальном растворе в гидротермальной системе Мутновского месторождения, тоже приуроченной к крупной кальдере, и его выделение на поверхности, продемонстрировано в работе [Потапов и др., 2003]. Допускается, что аналогичные процессы происходят, по-видимому, и в ходе рассматриваемого извержения Корякского вулкана. Насыщенная кремнеземом высокотемпературная струя (струи) высокотемпературного гидротермального флюида поднимается с высокой скоростью от магматического очага погребенной кальдеры по трещинной зоне, а на выходе из жерла теряет скорость и быстро остывает, способствуя выделению аморфного кремнезема, так как становится пересыщенной кремнеземом. По [Потапов и др., 2003], растворимость аморфного кремнезема в водном растворе уменьшается при падении температуры: при 200°C она равна 940.8 мг/кг, 100°C – 405.3 мг/кг, 25°C – 130.8 мг/кг.

Предполагается, что тепло магматического очага погребенной кальдеры, поднимающийся оттуда гидротермальный флюид и выделяющиеся из него частицы аморфного кремнезема – только один из главных источников движущей силы и продуктов извержения 2008–2009 г. Что касается обогащенного SO_2 горячего газа, то он, с большей вероятностью, может быть продуцирован дегазацией еще не остывших большеобъемных магматических “корней” Корякского вулкана, еще сравнительно недавно обеспечивавших его мощную эксплозивно-эффузивную и эффузивную деятельность в интервалах 9700–6000 и 3350–3150 лет назад [Базанова и др., 2009], а также подводящие каналы большеобъемных лавовых потоков голоценового возраста. В первом

приближении, допускается, что это — внедренные в саму постройку вулкана и под его основание силлоподобные тела и мощные дайки, близкие по химическому составу одновозрастным изверженным породам. Судя по суммарным (по ориентировочной оценке И.В. Мелекесцева — порядка $8-10 \text{ км}^3$, $16 \times 10^9 \text{ т}$) объему и весу излившихся тогда лав и выброшенной ювенильной пирокластике, объем этих силлоподобных тел должен достигать минимум 10 км^3 . Свой вклад могли внести и магматические “корни” совсем молодых (650 и 730 лет, по [Базанова и др., 2009]) эксплозивно-эффузивных образований самого вулкана Корякский и форм, связанных с проявлением транзитного базальтового (магнезиальные базальты) вулканизма последних 3 тыс. лет.

Следовательно, можно заключить, что, предположительно, было 3 источника теплового и парогазового питания извержения 2008–2009 гг.: тепло и газ — от магматического очага, гидротермальный флюид — из гидротермальной системы, погребенной под вулканом Корякский крупной кальдеры; тепло, газ и пар — от оставшихся на глубине магматических “корней”, питавших вершинные и побочные извержения вулкана Корякский, а также побочные центры транзитного базальтового магнезиального вулканизма.

Полигенетическим образованием, судя по ее облику и минеральному составу, является и тефра описываемого извержения. В целом, она явно резургентная, так как в ней не обнаружено ювенильного материала и, как минимум, двухкомпонентная. Главная ее часть — обломки в разной степени преобразованных фумарольными и гидротермальными процессами пород трещинной зоны, пересекающей СЗ сектор постройки вулкана Корякский. Вторая часть — частицы аморфного кремнезема, выделившиеся из гидротермального флюида.

Когда возникла эта трещинная зона и с какой глубины она начинается, пока точно не установлено. Однако известно [Маргаритов, 1899], что трещинная зона уже была в конце XIX в. Косвенным указанием на большую глубину заложения трещинной зоны может служить наличие в тefре извержения Корякского вулкана 1956–1957 гг. свежего вулканического стекла с показателем преломления 1.513 [Сирин и др., 1959], что соответствует стеклу с содержанием SiO_2 равным 67%, которое характерно для пород дацитового или андезидацитового состава. Таких пород в постройке Корякского вулкана не установлено, но они типичны для вулканического массива Арик-Ааг. Залегают же породы этого массива под вулканом Корякский, предположительно, на глубине 2500–3000 м ниже устьев активных жерл 1956–1957 и 2008–2009 гг. (см. выше).

Основываясь на приведенных данных о феноменологии и геолого-геоморфологических последствиях извержения 2008–2009 гг., его можно классифицировать по типу как гидротермально-фреатическое, по силе — как слабое до умеренного, а его

подводящий канал — сравнить с гигантской природной “скважиной”, идущей с глубины 4–4.5 км, параллельно и почти вплотную к подводящему каналу вулкана Корякский. Последний вывод основан на том, что устье верхнего, самого активного, жерла рассматриваемого извержения находится всего на расстоянии 300–350 м по прямой от бровки наиболее молодого кратера этого вулкана. Кроме того, в результате проведенной аэрофотосъемки 19.10.2009 г. вулкана Корякский выяснилось, что прогрев имел место и непосредственно в центре его кратера, где возникла вытаявшая в леднике овальная в плане воронка размером по бровке уступа $70 \times 60 \text{ м}$ и глубиной порядка 20 м, предположительно, с озером на дне.

Очень сходным почти по всем параметрам с извержением 2008–2009 гг. было предыдущее многоцентровое извержение 1956–1957 гг., когда более десяти эруптивных жерл располагались на радиальной трещине, но фумарольная активность наблюдалась и в вершинном кратере [Горшков, 1958; Сирин и др., 1959]. Извержение 1926 г., по описанию [Новограбленов, 1926], можно считать фреатическим с единичным взрывом 22 декабря. Взрыву предшествовала усиливавшаяся фумарольная активность, которая в более ослабленной форме продолжалась и после него. Следов выпавшего пепла ни автору в 1994–1995 и 2009 годах, ни другим исследователям обнаружить не удалось. По-видимому, извержение 1926 г. тоже было в общих чертах похоже на последующие извержения 1956–1957 и 2008–2009 гг. Сближают их, в частности, характерные особенности выброса, выпадения, аккумуляции и сохранности тefры. Во всех случаях выброс тefры наблюдался, но в незначительных объемах, интенсивность пеплопадов была слабой, формирование протяженных слоев и пачек тefры мощностью более 1 см не происходило даже вблизи эруптивного центра. Поэтому следы пеплопадов, в том числе, и совсем недавних, быстро исчезали. Никто, например, не видел в разрезах почвенно-пирокластического чехла на Корякском вулкане тefры его извержения 1956–1957 гг., хотя она там и выпадала [Сирин и др., 1959]. Та же участь через несколько лет ожидает, вероятно, и тefру извержения 2008–2009 гг.

Однотипность всех трех происходивших в 1926 г. извержений Корякского вулкана, ассоциировавшихся с возникшей (или уже существовавшей, но слабо активной) в конце XIX в. трещинной зоной в СЗ секторе его конуса, отсутствие за предыдущие сотни лет сколько-нибудь значительной вулканической деятельности другого типа позволяет сделать предварительный пока (до получения более полных сведений об его исторических извержениях) вывод о том, что именно гидротермально-фреатические извержения наиболее характерны для текущей стадии развития этого вулкана. Она закономерно продолжает трехтысячелетний этап резкого



Рис. 4. Бурный поток грязной воды в р. Железная, абс. высота ~ 950 м. На среднем плане остатки снежника, покрытого вулканическим пеплом. Фото И.В. Мелекесцева.

ослабления эруптивной активности вулкана [Базанова и др., 2009].

Логично допустить также, что подготовка гидротермально-фреатических извержений современной стадии эруптивной активности Корякского вулкана происходит по единой схеме. После кульминационной фазы извержения, сопровождающейся выбросами пепла, его мощность постепенно падает, параллельно ослабевает фумарольная активность, но она полностью не прекращается даже через десятки лет. Одновременно система подводящих каналов трещинной зоны начинает коагулироваться тонко-дисперсными глинистыми минералами, образующимися в результате разрушения вулканических пород под действием химически агрессивных гидротермальных растворов и паро-газовых смесей, а также осаждающимися в трещинах гипсом, аморфным кремнеземом, лимонитом и другими минералами. Все они широко представлены в составе минеральной части резургентной тефры [Овсянников и др., 2009], выброшенной при проработке подводящихся подводящих каналов очередного извержения. Вынос газообразных продуктов с большой глубины сначала уменьшается, а затем прекращается, хотя они там и продолжают накапливаться. Когда более глубокий кальдерный источник отсеклся, ослабленная фумарольная деятельность в период между извержениями поддерживалась, по-видимому, преимущественно за счет тепла и дегазации внедрившихся в постройку Корякского вулкана магматических “корней”, питавших в голоцене его побочные и вершинные извержения.

Накопление тепла и вещества для каждого последующего гидротермально-фреатического извержения продолжалось в течение примерно 30 лет. Затем, вероятно, по достижении критического давления аккумулятивной паро-газовой смеси на глубине, начиналась сопровождаемая синхронным усилением сейсмичности прочистка (проработка) коагулированной трещинной зоны и формирование системы подводящих каналов нового извержения.

Правда, следует отметить, что извержение 2008–2009 гг. готовилось фактически почти 52 года, а не 30 лет. Однако оно могло случиться и в 1994 г., когда тоже наблюдался предшествующий этап повышенной сейсмической активности под Корякским вулканом, т.е. примерно через 28 лет (март 1957–конец декабря 2008 г.). Но тогда трещинная зона, вероятно, доверху не вскрылась, и извержение не состоялось. Не исключено, что происходившие в то время под Корякским вулканом процессы оказались недостаточно мощными, чтобы вызвать его извержение. Об этом, в частности, может свидетельствовать более слабая (минимум на порядок) общая сейсмичность 1994 г., по сравнению с таковой 2008–2009 гг.

СИЛЬНО ЗАГРЯЗНЕННАЯ СВЕЖЕВЫПАВШЕЙ ТЕФРОЙ ВОДА КАК СПЕЦИФИЧЕСКИЙ ФАКТОР ОПАСНОСТИ ПРИ ГИДРОТЕРМАЛЬНО-ФРЕАТИЧЕСКИХ ИЗВЕРЖЕНИЯХ

Изучение постоянных и временных водотоков, начинающихся на конусе извергающегося вулкана Корякский, и их воды проводилось сотрудниками Лаборатории динамической вулканологии ИВиС ДВО РАН в ходе исследований по оценке вулканической опасности от текущего и будущих извержений этого вулкана.

Первое, на что сразу было обращено внимание при полевых исследованиях — необычно бурная для этого времени года (вторая половина июля–август) эрозионно-аккумулятивная деятельность водотоков, высокая (до 3–5 м/с) скорость течения, серый цвет и очень большая мутность грязной воды (рис. 4). Как правило, во второй половине лета здесь русла временных водотоков пересыхают, а в постоянных небольших речках и ручьях вода прозрачная, и скорость течения не превышает 1–2 м/с. При маршрутных исследованиях верховьев водотоков выяснилось, что все эти аномальные явления и процессы обусловлены исключительно бурным таянием питающих их многолетних снежников. Причем размеры последних уже резко сократились: они занимали в июле 2009 г. в 2–3 раза меньшие площади, чем на сентябрьских аэрофотоснимках 1974 г. Многие крупные снежники, изображенные на этих аэрофотоснимках, сейчас вообще исчезли.

Установлено, что были две главные причины столь быстрого таяния снежников и необычно бурной динамики начинающихся от них водотоков. Во-первых, аномально солнечная и жаркая для Камчатки погода в течение июня–августа. Во-вторых, маломощный (от 1–2 мм до 1–2 см) почти сплошной чехол серого (до темно-серого) мокрого вулканического пепла на поверхности снежников (рис. 5), способствующего интенсивной абляции. Большая часть пепла вытаяла из растаявшего сезонного снегового покрова: пеплы были захоронены во время зимних пеплопадов. Меньшая — вклад еще

более свежих весенне-летних пеплопадов рассматриваемого извержения, пеплы которых отлагались уже на поверхности таявших снежников.

То же происходило и в июне—первой половине июля, до начала наших полевых исследований. Те же были и главные причины — жара, выпавший и выпадающий вулканический пепел. Но главная масса воды поступала тогда в русла постоянных и временных водотоков от таяния мощного (2—3 м) сезонного снегового покрова, насыщенного по всей его толщине примесью и прослоями тефры в ходе извержения зимой и весной. Постепенно вытаявший темный пепел, который постоянно покрывал поверхность снега, совместно с жаркой и солнечной погодой настолько интенсифицировали процесс его таяния, что этот покров уже полностью исчез в июне, на месяц раньше, чем обычно. Естественно, что одновременно быстро таяли и снежники-перелетки и ледники, но их вклад был в то время меньше.

В результате активного воздействия перечисленных факторов к началу сентября 2009 г. сохранились в сильно сокращенном виде лишь самые мощные (свыше 20 м) снежники-перелетки. Как и прежде, их поверхность оставалась покрытой пеплом, а сами они продолжали таять, но менее интенсивно. Значительно меньше стало поступать воды от сокративших свою толщину ледников. Замедлению общего таяния сохранившихся снежников и ледников способствовали и наступившие в сентябре резкое похолодание и увеличение облачности. Сильно сократившийся объем талых вод привел к тому, что большинство временных водотоков пересохло, а оставшиеся действовали всего лишь по несколько часов в сутки. Расход воды у постоянных водотоков уменьшился в 5—10 раз, мутность — тоже.

Однако одновременно в процессе слива с земной поверхности (в том числе, и с сохранившихся фрагментов снежников) пепла извержения 2008—2009 гг. возросла роль начавшихся интенсивных дождевых осадков, когда сильно загрязненная этим пеплом вода эпизодически приводила к возникновению селей. Один из них, 1 сентября 2009 г., пройдя по долине руч. Хитрый более 15 км, достиг оживленной автотрассы в южном секторе подножия вулкана Корякский и затопил несколько домов, а его отложения мощностью до 2—2.5 м перекрыли плотно автодороги и полностью забили дренажный коллектор под ней.

Все эти изменения можно было хорошо проследить на примере р. Железная и ее притоков, начинающихся в западном и юго-западном секторах конуса вулкана Корякский. Облегчило задачу то, что р. Железная в среднем и нижнем течении протекает по территории СОТов, и происходившие там изменения скорости течения, расхода и мутности воды стали заметны жителям еще в начале июня 2009 г., когда таяние снегового покрова резко интенсифицирова-



Рис. 5. Пепловый слой (темный) на поверхности снежника. Фото А. Яковлевой.

лось, а извержение вулкана Корякский продолжалось.

Обычно в это время в прошлые годы р. Железная имела вид небольшого ручья с почти прозрачной водой и скоростью течения 1—1.5 м/с. Однако в 2009 г. картина кардинально изменилась: река стала бурным потоком с очень мутной водой и скоростью течения около 3 м/с, расход увеличился в 5—10 раз, вода приобрела серый цвет. Поэтому 7 июля в СОТе “Шивелуч” была взята проба воды у отметки уреза 144 м для проведения ее гидрохимического анализа, изучения минерализации и вещественного состава твердой взвеси. Отбор пробы производился в первой половине дня, когда расход воды был близок к минимальному в течение суток, а скорость течения не превышала 2 м/с. По данным наблюдений максимальная скорость течения, расход и мутность воды характерны здесь обычно для вечера и первой половины ночи.

В верхнем течении р. Железная у отметки уреза 950 м проба воды была взята около 18 часов 17 июля при скорости течения порядка 3—3.5 м/с и расхода 8—10 м³/с. Последующие наблюдения показали, что и эти значения не являются предельными для опробованного участка реки по всем отмеченным параметрам. В отдельные моменты по руслу реки с огромной скоростью неслась “полугрязь” (рис. 6) с объемом твердой взвеси (преимущественно вулканического пепла) до 50—100 см³ на литр этой “воды”. Перейти вброд р. Железную в такие моменты, даже при глубине 40—50 см, практически невозможно.

Проба воды в среднем течении правого притока р. Железная у отметки уреза 900 м отбиралась в 10 часов утра 18 июля при близких к минимальным скорости (≈ 2 м/с), расхода (1—1.5 м³/с) и мутности (молочно-светло-серый цвет) воды. Вечером и здесь, как и в случае с р. Железная, картина кардинально изменилась: скорость течения превысила 3 м/с, расход увеличился минимум в 2—3 раза, а молочно-светло-серая вода тоже превратилась в “полугрязь” с большим



Рис. 6. “Полугрязь” в верхнем течении р. Железная. В центре не растаявший фрагмент снежника, покрытого вулканическим пеплом. Белый чехол вулканического пепла облекает глыбы и валуны по берегам реки. Фото И.В. Мелекесцева.

объемом твердой взвеси, тоже представленной, главным образом, вулканическим пеплом.

Результаты химического анализа воды всех проб представлены в табл. 2.

Хорошо видно, что вода из р. Железная, в нижнем и верхнем ее течении, несмотря на некоторые отличия (в минерализации и количественном содержании компонентов, непосредственно зависящих от объема пепловой взвеси) относится к одному типу. В обоих случаях она – сульфатно-кальциевая, кислая, имеющая близкую формулу химического состава: $M_{0,064} = \frac{SO_4 85 HCO_3 7 C 17}{Ca 88 Mg 10 Na}$ рН 4.15 (СОТ “Шивелуч”, отметка уреза русла 144 м) и $M_{0,083} =$



Рис. 7. Временное озеро с белесоватой кислой водой (на среднем плане) у края лавового потока (на первом плане) вулкана Корякский. Фото И.В. Мелекесцева.

$= \frac{SO_4 95 HCO_3 5 C 11}{Ca 79 Mg 19 Na 2}$ рН 4.2 (отметка уреза русла 950 м). Вода притока р. Железная – тоже кислая, но сульфатно-алюминиевая: $M_{0,035} = \frac{SO_4 71 HCO_3 28.5 C 110}{Al 48 Ca 26 Mg 13 Na 11}$ рН 4.35 (отметка уреза русла 900 м).

Наиболее вероятная причина такой разницы – “порционность” выброшенной тefры, обогащенной неодинаковым по содержанию набором частиц гидротермально и фумарольно измененных пород постройки вулкана с соответствующими комплексами минералов, выпадавшей во время отдельных эпизодов пеплопадов в разных секторах подножия постройки вулкана Корякский. Сульфатно-кальциевый тип воды р. Железная во многом обусловлен растворением в ней гипса, присутствующего в тefре, а сульфатно-алюминиевый тип воды – следствие вероятного присутствия алунита. Причем, и гипс, и алунит обязаны своим происхождением [Маргаритов, 1899] компонентам, выделившимся из фумарольных газов, и их взаимодействием с вулканическими породами.

Кислой оказалась и почти прозрачная вода неглубоких (0.5–1 м) временных озер (рис. 7) в истоках р. Железная и других водотоков, начинающихся на конусе вулкана Корякский. Повышенная кислотность воды там предопределена выпавшим пеплом, сплошным чехлом покрывающим их дно.

Сульфатно-кальциевой, но еще более минерализованной (в 40–100 раз) и кислой ($M_{3,39} = \frac{SO_4 80 C 117}{Ca 63 Mg 13 Na 12}$ рН 3.5) была вода растопленного снега, собранного вместе со свежес выпавшим пеплом вблизи эруптивного центра извержения вулкана Корякский в 1956–1957 гг. [Сирин и др., 1959].

Что касается грунтовой воды из скважины в СОТе “Шивелуч”, то она по химическому составу – гидрокарбонатно-натриевая с кальцием и магнием, слабо щелочная $M_{0,083} = \frac{HCO_3 83 SO_4 9 C 18}{Na 45 Ca 35 Mg 13 K 7}$ рН 7.6. По (устное сообщение Ю.Ф. Манухина), эта вода относится к подтипу вулканогенных бассейнов стратовулканов вулканогенных гидрогеологических структур, основное питание которых осуществляется за счет обильных атмосферных осадков (на Восточной Камчатке до 2000 мм/г). Причем хорошие фильтрационные свойства вулканических пород стратовулканов обеспечивают полную инфильтрацию атмосферных осадков. Дополнительное питание происходит при поглощении поверхностных вод разного происхождения, включая талые воды снежников и ледников. Стратовулкан Корякский

Таблица 2. Результаты химического анализа проб воды, отобранных в районе вулкана Корякский (в мг/дм³; жесткость в мг-экв/дм³)

Показатель	Наименование объекта				ПДК для питьевой воды	Порядок концентрации (средний для Камчатки)	Метод анализа
	Скв.СОТ	950	900	144			
рН	7.6	4.2	4.35	4.15	от 6 до 9	от 6 до 7	потенциометрия
Минерализация	83.5	83.21	35.42	64.34	1000	<100	расчет
жесткость	0.223	1.04	0.13	0.8	7	n	ААС
алюминий		<0.3	1.35		0.5	0.0n	фотометрия
бор	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.5	0.n	потенциометрия
железо	<0.005	0.8844	0.5542	0.245	0.3	0.n	ААС
марганец	<0.005	0.071	0.0024	0.0406	0.1	0.0n	ААС
медь	<0.001	0.0096	0.0149	0.0069	1	0.00n	ААС
никель	<0.005	0.0249	0.0148	0.0186	0.1	0.00n	ААС
нитраты	1.51	<0.1	<0.1		45	n · 10	фотометрия
свинец	<0.01		0.0131	0.0256	0.3	0.00n	ААС
сульфаты	2.86	57.64	16.33	43.2	500	n · 100	титриметрия
фториды	<0.1	0.2	<0.1		1.2	0.n	потенциометрия
хлориды	1.64	0.71	2.13	2.8	350	n · 100	титриметрия
цинк	<0.005	0.0048	0.0022	0.0075	5	0.0n	ААС
литий	<0.001	<0.01	<0.01	<0.005	0.03	0.00n	ПЭФ
кобальт	0.0117	0.016	0.0058	0.0202	0.1	0.00n	ААС
аммиак	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	2	0.n	фотометрия
кремний	8.32	7.93	3.25	2.4	10	n · 10	фотометрия
натрий	4.86	0.368	0.807	0.22	200	n · 10	ПЭФ
нитрит	<0.01	<0.01	<0.01	<0.1	3	0.00n	фотометрия
Гидрокарбонат	31.73	3.9	10	4.88		n · 100	потенциометрия
калий	1	0.192	0.34	0.35		n	ПЭФ
кальций	3.27	16.83	1.6	14.4		n · 10	ААС
магний	0.73	2.43	0.49	0.97		n	ААС

Примечание. Химические исследования проб проводились в Аналитическом центре ИВиС ДВО РАН н.с. Е.В. Карташевой и м.н.с. А.А. Кузьминой. Данные для сравнения (средние по Камчатке) рассчитаны по многолетним наблюдениям за составом вод, используемых в питьевом водоснабжении. ААС – Атомно-абсорбционная спектрофотометрия;

ПЭФ – пламенно-эмиссионная спектрофотометрия. Скв.СОТ – проба воды из скважины СОТа “Шивелуч” (подножие в. Корякский), глубина 110 м. 950 – проба воды из р. Железная на высоте 950 м. 900 – проба воды из притока р. Железная на высоте 900 м. 144 – проба воды из р. Железная на высоте 144 м.

в этом плане исключением не является. Проанализированная слабо минерализованная, почти нейтральная (рН 7.6) вода из скважины в ЮЗ секторе подножия вулкана – тоже по происхождению, преимущественно, атмосферная: попавшая на глубину дождевая и талая от растаявших сезонного снегового покрова, снежников–перелетков и современных ледников, когда вулкан Корякский в течение десятков лет находился в спокойном состоянии. Минерализация воды и, в частности, ее обогащение SiO₂ и HCO₃⁻ произошли за счет выщелачивания ранее изверженных вулканических пород постройки вулкана, имеющих позднеплей-

стоценовый и голоценовый возраст. При сравнении полученных аналитических данных с нормативными показателями безопасности питьевых вод (по СанПин 2.1.4. 1074-01 “Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества”) хорошо видно, что ее состав можно считать близким к усредненным показателям состава слабоминерализованных поверхностных вод Камчатки, в том числе, и невулканических районов. Поэтому она и используется в качестве источника централизованного снабжения питьевой водой СОТа “Шивелуч”, а также для полива сельхозугодий. До

извержения 2008–2009 гг. вулкана Корякский частично для полива применялась и вода р. Железная.

Дождевая и талая воды, испытывавшие воздействие последствий извержения вулкана Корякский, от грунтовой воды из скважины существенно отличаются (см. табл. 2). Это хорошо заметно не только на проанализированных пробах воды из р. Железная и ее притока, но и на примере свежеснеговой воды на склоне вулкана Корякский снега без видимого присутствия в нем примеси вулканического пепла. Так, очень низко минерализованная (5.27 и 6.26 мг/л) талая вода из него – уже слабо кислая (рН 5.64 и 6.25) и имеет набор компонентов и их соотношения между собой, по данным А.А. Овсянникова, отбирившего пробы снега, почти как в воде, сильно загрязненной вулканическим пеплом. Не исключено, что выпадавший непосредственно в ходе извержения этот снег еще в воздухе был заражен газами и аэрозолями эруптивных туч над вершиной и в окрестностях вулкана Корякский.

Что касается воды из р. Железная и ее притока, то там эффект обогащения продуктами извержения вулкана Корякский проявлен намного ярче, поскольку химический состав исследованных водных объектов претерпел существенные изменения из-за большого количества захваченного и транспортируемого этой водой вулканического пепла. В первую очередь, следует отметить резкое изменение концентрации ионов водорода (рН) в кислую сторону. При полученных значениях рН вода становится непригодной для питьевых целей и полива сельхозугодий. По органолептическим показателям, в частности, по мутности (4.0 ЕМФ и более, в среднем при ПДК 2.6 ЕМФ), пробы также не удовлетворяют требованиям для питьевой воды. Изменение рН повлекло за собой возрастание концентрации тяжелых металлов (никель, кобальт, свинец, медь) на порядок, по сравнению с усредненными значениями.

Измененный химический состав отобранных проб является очень динамичным: в открытых емкостях происходит активный химический процесс и наблюдается дальнейшее снижение рН до 3.5, повышается содержание тяжелых металлов, которые продолжают выщелачиваться из осадков, представленных преимущественно пеплами.

Так как исследуемые образцы вод имеют взвеси пеплов, выпадающие в плотные осадки, был проведен анализ твердой фазы, содержащейся в пробах. После декантирования и высушивания определена массовая доля твердой пепловой фазы и из этого материала были изготовлены прессованные излучатели для рентгенофлуоресцентного анализа. Результаты анализа приведены в табл. 1. Для сравнения там же приведены результаты анализа самих пеплов Корякского вулкана, что позволяет проследить, какими элементами обогащается вода при-

родного источника в процессе выщелачивания вулканического пепла.

Обращает внимание, что по химическому составу и комплексу микроэлементов твердая взвесь из проб воды и тefра извержения Корякского вулкана практически идентичны. Это однозначно указывает, что главная причина загрязнения воды (по своей первичной природе атмосферного происхождения) из р. Железная и ее притока – свежий вулканический пепел. Причем по содержанию SiO_2 (в пересчете на безводность за вычетом серы и фтора) твердая взвесь и пепел отвечают по составу дацитам: соответственно 65.28–65.36% SiO_2 – во взвеси и 64.34–65% SiO_2 – в пепле. Породы такого состава в постройке вулкана Корякский не обнаружены. Поэтому логично допустить, что излишек SiO_2 в обоих случаях обусловлен за счет изменения пород вулкана фумарольной и гидротермальной деятельности, на что уже обращалось внимание (см. предыдущий раздел).

Оценивая сильно загрязненную свежеснеговой тefрой воду атмосферного происхождения, которая представлена на вулкане Корякский в разных вариантах (дождевая, талая, снег, лед) как фактор природной опасности, ассоциирующейся с гидротермально-фреатическими извержениями, следует выделить две его главные составляющие – поверхностную и условно глубинную.

Поверхностная составляющая включает в себя опасные процессы и явления, происходящие практически субсинхронно с самим извержением. К ним относятся: 1) резко усиливавшаяся, вплоть до катастрофической, эрозионно-аккумулятивная деятельность постоянных и временных водотоков; 2) возникновение атмосферных селей, для которых загрязненная тefрой вода служит одним из главных компонентов; 3) сильное загрязнение всех видов поверхностной воды тefрой с увеличением ее кислотности, делающей эту воду непригодной для питья и полива сельхозугодий; 4) негативное воздействие на животный мир.

Поскольку фактический материал, относящийся к пунктам 1–3, был рассмотрен выше, то здесь будут приведены лишь данные, которые служат доказательной базой для пункта 4. Суммируя эти данные, можно вполне определенно утверждать, что на извергавшемся в 2008–2009 гг. вулкане Корякский был реализован своего рода “природный эксперимент” по выживанию обитавших там животных: мышей-полевых, черношапочных сурков, длиннохвостых сусликов, зайцев, лисиц и др. Дело в том, что за все время полевых исследований в 2009 г. на вулкане никаких грызунов мы там не видели, хотя их нор было множество. Не встретили и охотящихся на них хищников. Вероятнее всего, вылезшие весной из нор мелкие грызуны погибли из-за отсутствия годной для питья воды (см. выше) и обильного тончайшего пепла, повсеместно покрывавшего

землю и растительность. Этот пепел в жаркую сухую погоду летом 2009 г. мгновенно поднимался в воздух при их передвижениях или слабом ветре. А зайцы, лисы и другие более крупные животные, по-видимому, покинули эти опасные места еще зимой, до конца извержения. Подобная картина наблюдалась, например, на соседнем с Корякским, Авачинском вулкане, после его сильного извержения в 1827 г., но в еще более катастрофичном варианте [Дитмар, 1901].

Необходимо также обратить внимание на еще один аспект возможного опасного влияния воды, обогащенной выщелоченными из свежей тefры элементами, на животных, а конкретно — на лососей, нерестящихся в р. Авача и ее левом притоке р. Пиначевская. Дело в том, что начинающаяся на склонах вулкана Корякский р. Железная впадает в р. Пиначевская, а ее вода, обогащенная новыми элементами, могла повлиять на общую геохимию воды данной нерестовой реки. А это, в свою очередь, должно затруднить заход на нерест ранее родившихся в р. Пиначевская рыб, поскольку считается, что при поиске “своей” реки они используют знакомые геохимические ориентиры.

Условно глубинная составляющая рассматриваемой природной опасности — это будущее заражение компонентами загрязненной вулканическим пеплом водой горизонтов грунтовых вод подножия вулкана Корякский, которые сейчас разбурены большим количеством скважин и широко используются для питьевых и хозяйственных целей в находящихся здесь СОТах. Оно возможно двумя путями: 1) через выщелачивание выпавшего вулканического пепла атмосферными осадками, когда те вместе с извлеченными из него компонентами, благодаря высокой проницаемости пород постройки вулкана, могут достичь грунтовых вод; 2) при инфильтрации вглубь поверхностных загрязненных текучих вод и воды временных озер, что также характерно для подножия стратовулканов Камчатки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Доказывается, что извержение 2008–2009 гг. вулкана Корякский — гидротермально-фреатическое, типичное для последних сотен лет современной стадии развития этого вулкана. Предполагается, что подобные извержения станут происходить и в ближайшем будущем, если не произойдет кардинальной перестройки питающей системы вулкана.

2. Движущие силы извержения: тепло и газ — от магматического очага, гидротермальный флюид — из гидротермальной системы, погребенной под вулканом предполагаемой кальдеры; тепло, газ и пар от оставшихся в постройке вулкана и на глубине магматических “корней”, недавно питавших его вершинные и побочные извержения, а также побочные центры транзитного базальтового магнезиального вулканизма.

3. Изверженная тefра — резургентная, минимум, двухкомпонентная: из частиц фумарольно и гидротермально измененных пород постройки вулкана и частиц аморфного кремнезема, выделившихся из гидротермального флюида.

4. Загрязненная свежесвыпавшей тefрой вода — один из главных и типичных видов многофакторной природной опасности, связанной с гидротермально-фреатическим извержением 2008–2009 гг. и других подобных извержений XIX–XX вв. вулкана Корякский. Такая опасность будет характерна и для последующих гидротермально-фреатических извержений вулкана Корякский.

Статья подготовлена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 09-05-00718а).

Авторы выражают благодарность В.Н. Двигало за помощь при отборе проб, А.П. Максимова, А.А. Овсянникову, О.А. Гириной, И.К. Дубровской, Д.В. Мельникову, А.В. Сокоренко за текущую информацию о ходе и последствиях извержения 2008–2009 гг. вулкана Корякский.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Базанова Л.И., Сулержицкий Л.Д.* Вулкан Корякский: реконструкция динамики эруптивной активности за последние 10–12 тысяч лет // Вулканизм и геодинамика. Материалы IV Всероссийского симпозиума по вулканологии и палеовулканологии 22–27 сентября 2009 г. Т. 1. Петропавловск-Камчатский, 2009. С. 269–272.
- Горшков Г.С.* Состояние вулканов Северной Камчатки в 1956 г. // Бюлл. вулканол. станций. 1958. № 27. С. 3–15.
- Дитмар К.* Поездка и пребывание в Камчатке в 1851–1855 гг. СПб., 1901. Ч. 1. 756 с.
- Крайнов С.Р., Рыженко Б.Н., Швеиц В.М.* Геохимия подземных вод. Теоретические, прикладные и экологические аспекты. М.: Наука, 2004. С. 368–422.
- Крашенинников С.П.* Описание земли Камчатки (по первому изданию СПб., 1755). Т. 1. Петропавловск-Камчатский: Камшат, 1994. 438 с.
- Маргаритов В.* Камчатка и ее обитатели // Зап. Приамурского отдела ИРГО. Хабаровск, 1899. Т. 5. Вып. 1. 144 с.
- Маренина Т.Ю., Сиринов А.Н., Тимурбаева К.М.* Корякский вулкан на Камчатке // Тр. Лаб. вулканологии. 1962. Вып. 22. С. 57–130.
- Масуренков Ю.П., Пузанков М.Ю., Егорова И.А.* Вулкан Корякский // Действующие вулканы Камчатки. Т. 2. М.: Наука, 1991. С. 230–240.
- Мелекесцев И.В.* Вулкан Корякский (Камчатка): Извержение 1895–1896 гг. выделено ошибочно // Вулканология и сейсмология. 1996. № 2. С. 91–95.
- Мелекесцев И.В.* Проблема выявления и диагностики действующих и потенциально активных вулканических образований Курило-Камчатской и Командорского звена Алеутской островных дуг // Вулканология и сейсмология. 2009. № 4. С. 3–29.
- Мороз Ю.Ф.* Глубинное строение вулканических зон Камчатки по геофизическим данным // Вулканизм и геодина-

- мика. Материалы IV Всероссийского симпозиума по вулканологии и палеовулканологии 22–27 сентября 2009 г. Т. 1. Петропавловск-Камчатский, 2009. С. 100–101.
- Новограбленов П.Т.* Каталог вулканов Камчатки // Изв. Гос. Геогр. об-ва. 1926. Т. 58. Вып. 2. С. 79–92.
- Овсянников А.А., Маневич А.Г.* Об активности вулкана Корякский в исторический период // Материалы IV Всероссийского симпозиума по вулканологии и палеовулканологии 22–27 сентября 2009 г. Т. 2. Петропавловск-Камчатский, 2009. С. 645–648.
- Постельс В.* Путешествие вокруг света, совершенное по велению Государя Императора Николая I на военном шлюпе “Сенявине” в 1826, 1827, 1828 и 1829 годах Капитаном Флота Федором Литке. Ч. III. СПб., 1836. 274 с.
- Потанов В.В., Гусева О.В.* Полимеризация кремнезема в гидротермальном растворе // Материалы ежегодной конференции, посвященной Дню вулканолога 1–2 апреля 2003 года. Петропавловск-Камчатский, 2003. С. 105–111.
- Сирин А.Н., Тимербаева К.М.* Извержение Корякского вулкана 1956–1957 гг. // Бюлл. вулканол. станций. 1959. № 28. С. 3–21.
- Стеллер Г.В.* Описание земли Камчатки (по первому изданию: Франкфурт, Лейпциг, 1744. Нем.). Петропавловск-Камчатский: СЭТО-СТ, 1999. 288 с.
- Таран Ю.А.* Фумарольная активность Корякского вулкана в 1983 году // Вулканология и сейсмология. 1985. № 3. С. 82–84.
- Фомин Г.С.* Вода. Контроль химической, бактериальной и радиационной безопасности по международным стандартам. М.: Госстандарт России, 1995. 618 с.
- Koryaksky (Kamchatka) Seismicity, then ash eruptions, after ~ 51 – year repose // Bull. of the Global Volcanism Network. 2009. V. 34. № 1. P. 2–3.*

Water Contaminated by Fresh Tephra as a Natural Hazard Factor: The 2008–2009 Eruption of Koryakskii Volcano, Kamchatka

I. V. Melekestsev, E. V. Kartasheva, T. P. Kirsanova, and A. A. Kuz'mina

Institute of Volcanology and Seismology, Far East Division, Russian Academy of Sciences,

Petropavlovsk-Kamchatskii, 683006 Russia

e-mail: annasm@kscnet.ru

Abstract—This study is the first to show, using data from the eruption of Koryakskii Volcano, Kamchatka that began in December 2008 and continued through 2009 that the water in permanent and temporary streams that start on the slopes of the volcanic cone and in temporary lakes when contaminated with fresh tephra is a specific hazard factor related to long-continued hydrothermal–phreatic eruptions on that volcano. This water is characterized by increased acidity (pH 4.1–4.35) and large amounts (up to 50–100 cm³/liter) of solid suspension and is unfit for drinking and irrigation. When combined with tephra, it probably produced mass destruction of a number of animals who lived on the slopes and at the base of the volcano. The water contaminated with tephra is an important component of the atmospheric mud flows occurring on Koryakskii Volcano; for several future years it will be a potential source for enhancing the acidity of ground water in the volcanic edifice.