

УДК 551.21

© 1992 г. И.А. МЕНЯЙЛОВ, Л.П. НИКИТИНА, В.А. БУДНИКОВ

**АКТИВНОСТЬ ВУЛКАНА ЭБЕКО В 1987—1991 гг.;
ХАРАКТЕР ИЗВЕРЖЕНИЙ, ОСОБЕННОСТИ ИХ ПРОДУКТОВ,
ОПАСНОСТЬ ДЛЯ г. СЕВЕРО-КУРИЛЬСК**

Активизировавшийся вулкан Эбеко на о-ве Парамушир вступил в фазу фреатических извержений 14 октября 1987 г. Отмечаются три периода активности: слабое паропепловое извержение в октябре—декабре 1987 г., более продолжительное и мощное извержение в феврале 1989 г. — апреле 1990 г. и очень слабое извержение в январе 1991 г. В результате эксплозивной активности было выброшено $2,1 \cdot 10^6$ т резургентных пеплов и $1,1 \cdot 10^6$ т газов.

Фреатические извержения и постоянная фумарольная деятельность представляют реальную угрозу для близлежащего г. Северо-Курильск. Вулканическая опасность возникает от выпадения пепла, угрозы заражения атмосферы, речных и питьевых вод токсичными веществами. В 1991 г., когда вулкан находился в спокойном состоянии, эта опасность уменьшалась.

ACTIVITY OF EBOKO VOLCANO (KURILES) IN 1987—1991, THE CHARACTER OF ERUPTIONS, FIGURES OF ERUPTED PRODUCTS AND POTENTIAL HAZARD FOR THE TOWN OF SEVERO-KURILSK, by Menyailov I.A., Nikitina L.P. and Budnikov V.A. Ebeko volcano (Paramushir island, Kuriles) entered the stage of phreatic eruptions on October 14, 1987. We discriminate three periods of activity: weak steam-ash eruption in October — December 1987, a longer and more powerful eruption in February 1989 — April 1990 and extremely weak eruption in January 1991. As a result of the explosive activity over $2,1 \times 10^6$ tons of resurgent ash and $1,1 \times 10^6$ tons of gas were ejected.

Phreatic eruptions and sustained fumarolic activity cause a real danger for the town of Severo-Kurilsk that lies nearby. The volcanic hazard may arise from the ashfalls, contamination of the atmosphere, rivers and drinking water with toxic matter. In 1991 when the volcano was in dormant state this hazard was small.

(Received February 14, 1992)

Institute of Volcanology, Far East Division, Russian Academy of Sciences, Petropavlovsk-Kamchatsky, 683006, Russia

Активизировавшийся в последнее время вулкан Эбеко представляет собой типичный пример андезитового вулкана, характеризующегося фреатическими и фреатомагматическими извержениями, постоянной деятельностью фумарол, горячих источников и кратерных озер, а также процессами образования самородной серы и гидротермального изменения вулканитов. Такой тип активности обусловлен наличием близповерхностного магматического очага — источника тепла и магматических эманаций, и горизонтов грунтовых вод, осуществляющих теплоперенос и играющих основную роль в процессах газогидротермальной деятельности.

Расположенный в 10 км к востоку от Эбеко г. Северо-Курильск находится в зоне влияния продуктов деятельности вулкана. Поэтому проводимые Институтом вулканологии работы по изучению состояния вулкана и особенностей продуктов его деятельности имеют важное практическое значение для города. Основной целью таких работ является оценка опасности от вулкана для г. Северо-Курильск и выработка мероприятий, снижающих эту опасность.

Эруптивная и фумарольная активность вулкана Эбеко

Вулкан находится в привершинной части хр. Вернадского на северной оконечности о-ва Парамушир (Курильские острова). Он представляет собой вытянутый с юга на север невысокий (~200 м) конус, сложенный лавами и пирокластической андезитового состава. На вершине конуса находятся три слившихся кратера. Фумарольные поля располагаются в кратерах и на восточном склоне вулкана [4]. Еще ниже, по восточному склону, расположены горячие источники, давая начало руч. Лагерному. Мощная группа источников находится на западном склоне вулкана в верховьях р. Юрьевой.

Извержения 1934—1935 гг. [2]. В 1934—1935 гг. в Среднем кратере произошло несколько извержений. Эруптивный период начался с усиления фумарольной деятельности и извержений фреатического характера; закончился этот период фреатомагматическим извержением с выбросом крупных бомб с поверхностью типа «хлебной корки». После этого в Среднем кратере появилось горячее озеро. Северный кратер был занят холодным озером.

Извержения 1967—1971 гг. [3]. Этот эруптивный период состоял из трех фреатических извержений в Северном кратере. Взрывная деятельность привела к образованию воронки в северной части кратера и выбросу 10^5 т пирокластики (резургентный материал). Извержению предшествовало усиление фумарольной активности, подъем температуры газов, понижение уровня грунтовых вод и резкие колебания уровня в озере в Среднем кратере.

Извержения 1987—1990 гг. [5]. Последняя активизация вулкана произошла после 16-летнего периода покоя. Извержение началось 14 октября 1987 г. без сейсмической подготовки и заметного изменения температуры фумарол из двух жерл на восточной стенке Северного кратера. Из жерл на высоту 50—150 м поднимались газы с незначительным количеством пепла. 5—6 раз в 1 сут в продолжение 10—30 мин количество выбрасываемого пепла и газа резко увеличивалось, эруптивное облако поднималось на высоту до 1000 м. В таком режиме извержение продолжалось до начала января 1988 г. (рис. 1).

Следующее извержение началось 2 февраля 1989 г. и продолжалось немногим более года. Снова отсутствовали предвестники в виде усиления сейсмичности или заметного подъема температуры фумарол. До конца февраля извержение происходило из тех же двух жерл в стенке Северного кратера. Характер газопеплового истечения, частота выбросов и высота эруптивного облака остались прежними (см. рис. 1).

С начала марта отмечено резкое усиление эруптивной деятельности вулкана. Мощные взрывы происходили из жерла диаметром 15—20 м в дне Северного кратера (взрывная воронка 1967 г.) примерно 8—10 раз в 1 сут. Высота эруптивного облака достигала 5 км. Пепловое облако прослеживалось на расстоянии до 150 км от вулкана. Такая активность продолжалась до середины апреля (см. рис. 1). В результате эксплозивной деятельности взрывная воронка расширилась (по сравнению с предыдущим извержением) и заняла примерно $2/3$ площади дна Северного кратера.

После периода максимальной активности и до конца извержения высота пеплогазовых выбросов из Северного кратера достигала 2—3 км (рис. 2, см. рис. 1). Одновременно с эксплозивной деятельностью в Северном кратере выбросы газов, пеплов и более крупного материала происходили из бокки Пепловой, открывшейся на восточном склоне конуса в 150 м от активного жерла (рис. 3). Этот период извержения закончился в середине апреля 1990 г.

В январе 1991 г. наблюдалось некоторое усиление активности. В течение нескольких дней из жерл в Северном кратере происходили газовые выбросы с небольшим количеством пепла.

Усиление эксплозивной активности сопровождалось увеличением сейсмичности в районе вулкана, проявляющейся в слабых нечетких записях с/с Северо-Курильск, повышением SO_2 в газообразных продуктах и увеличением температуры фумарольных газов (см. рис. 1).

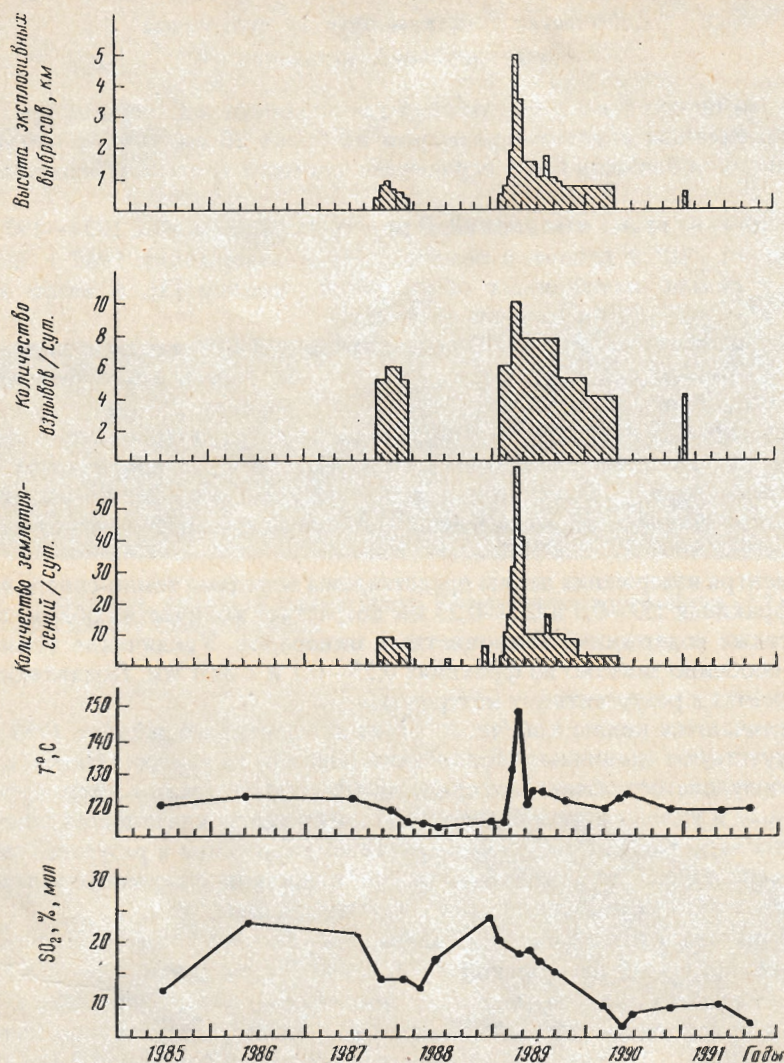


Рис. 1. Результаты наблюдений за основными параметрами извержений вулкана Эбеко в 1987—1991 гг. Высота эксплозивных выбросов и количество взрывов в сутки оценивались по данным визуальных наблюдений из г. Северо-Курильск. Количество землетрясений (нечеткие слабые записи) — по данным с/с Северо-Курильск. Температура и содержание SO₂ приведены по замерам режимной фумаролы Гремучая (250 м от активного жерла)

Фумарольная деятельность. Межэруптивная фумарольная активность вулкана Эбеко сосредоточена в пределах термальных полей, главным образом на восточном склоне вулкана [4]. Термальные поля ориентированы с юга на север, фиксируя разлом, по которому происходит выделение флюидов из гидротермального резервуара. В пределах термальных полей действуют мощные фумаролы, в безветренные дни их паровые султаны достигают высоты 150—200 м. Вокруг выходов фумарол образуются серные купола. Горячие источники на восточном склоне дают начало руч. Лагерному, воды которого по каньону р. Кузьминки достигают пределов г. Северо-Курильск. Воды горячих источников кислые с большим содержанием растворенных металлов [6].

Количество и состав продуктов эруптивной и фумарольной активности

Основными продуктами эксплозивной деятельности в Северном кратере были обломки измененных андезитов размером не более 20 см, тонкие пеплы и газы. Распространение обломков было ограничено кромкой кратера и верхними частями конуса.

Вынос пеплов во время извержений. В результате извержений 1934—1935 гг. было выброшено $\sim 1 \cdot 10^6$ т пеплов и бомб [2]. При извержении 1967 г. выброшено $0,12 \cdot 10^6$ т сильно измененных обломков и пеплов [3], а всего за период 1967—1971 гг. — $\sim 0,4 \cdot 10^6$ т (оценки авторов).

За период извержений 1987—1990 гг. поступило $\sim 0,1 \cdot 10^6$ т пеплов на первом этапе (октябрь 1987 — январь 1988 гг. [5]) и $\sim 2 \cdot 10^6$ т — на втором этапе (февраль 1989 — апрель 1990 гг., оценки авторов).

По химическому и минеральному составу пелы вулкана Эбеко относятся к андезитам (табл. 1). Они состоят из бесцветного полупрозрачного плагиоклаза, обломков породы темно-серого цвета, обломков пироксена зеленого и желто-зеленого цвета, вулканического стекла и многочисленных обломков измененных пород каолин-алунитового состава.

Вблизи центра извержения пеплы представлены породами темно-синего до черного цвета. Во фракциях 1,0—0,5 и 0,5—0,25 мм возрастает количество обломков плагиоклазов, а также содержание темноцветных минералов. Увеличение темноцветных минералов особенно заметно во фракциях 0,25—0,1 и $< 0,01$ мм. Подавляющая масса пеплов относится к резургентному материалу.

Резко отличаются пеплы конечного этапа извержения в декабре 1989 г. В этих пеплах присутствуют единичные образования, похожие на «волосы Пеле», единичные обломки скорлуповатого облика и сферической формы со стеклом желто-бурого цвета, остроугольные и уплощенные обломки и обломки плагиоклаза в стеклянной «рубашке». Предполагается, что на последнем этапе извержения в резургентных пеплах появился ювенильный материал. По аналогии с пеплами извержения вулкана Алайд 1981 г. [7], этот факт указывает на окончание извержения.

Вынос эруптивных газов во время извержений. Количество вулканических газов, выделившихся во время извержений 1987—1990 гг., рассчитано по высоте фумарольных и эруптивных облаков с использованием формулы С.А. Фетодова [5].

В начальный период (октябрь 1987 — январь 1988 гг.) из эруптивных жерл выбрасывалось около $0,01 \cdot 10^5$ т/сут H_2O , а за весь этот период поступило $0,75 \cdot 10^5$ т H_2O . В следующий более продолжительный период (февраль 1989 — апрель 1990 гг.) из Северного кратера выбрасывалось около $0,02 \cdot 10^5$ т/сут H_2O , а в короткий период интенсификации извержения (март — начало мая 1989 г.) — $4,5 \cdot 10^3$ т/сут H_2O . Всего за период извержения с февраля 1989 г. по апрель 1990 г. было выброшено $1,1 \cdot 10^6$ т H_2O .

Состав и температура газов эруптивных выбросов можно оценить по данным измерения температуры и анализа газа бокки Пепловой (табл. 2), действовавшей на склоне конуса Эбеко в период извержений, с $415^\circ C$; такую же начальную температуру имели и обломки пород, выброшенные в процессе взрывной деятельности из кратера. В эруптивных газах содержалось, мол. %: H_2O — 97, CO_2 — 1,9 и токсичных H_2S , SO_2 , HCl и др. до 0,6. Кроме H_2O , за период извержений 1987—1990 гг. в атмосферу поступило в т: $8,3 \cdot 10^4$ CO_2 , $1,3 \cdot 10^4$ H_2S , $9,2 \cdot 10^3$ SO_2 , $5,0 \cdot 10^3$ HCl , $1,9 \cdot 10^2$ HF .

Вынос газов фумаролами. Характер и масштабы фумарольной деятельности во время периодов эруптивной активности вулкана оставались на прежнем уровне. Средний состав газов всех фумарольных полей вулкана представлен в табл. 2. Газы состоят преимущественно из H_2O (98 мол. %) и CO_2 (1,7 мол. %), содержат токсичные газы HF , HCl , H_2S , SO_2 ($\sim 0,3$ мол. %). В 1979, 1983 и 1991 гг. замерялся расход газов

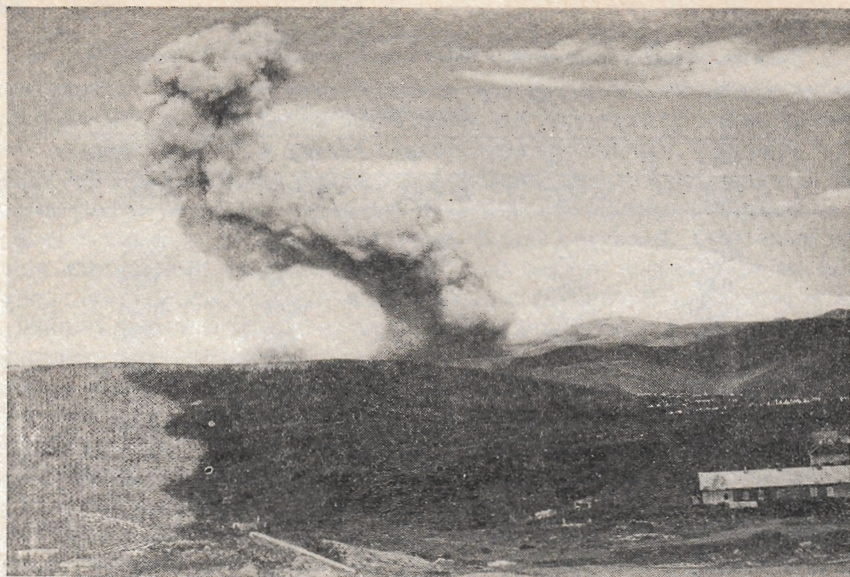


Рис. 2. Газопепловые взрывы на вулкане Эбеко. Высота эруптивного выброса ~1,5 км. Июль 1989 г. Вид из г. Северо-Курильск



Рис. 3. Состояние Северного кратера (на заднем плане) активного конуса в. Эбеко и бочки Пепловой (на переднем плане) летом 1989 г.

для всех фумарол по скорости газовых струй наиболее мощных фумарол и площади их выходного отверстия. Результаты измерений показали, что расход газов фумаролами вулкана оставался почти постоянным (1900 т/сут [4]). Всего за время эруптивного периода (октябрь 1987 — конец 1990 г.) фумаролами вулкана вынесено $\sim 2,2 \cdot 10^6$ т H_2O , что сопоставимо с количеством H_2O , выброшенным из Северного кратера в составе эруптивных газов. Количество остальных компонентов: CO_2 — $1,1 \cdot 10^5$ т, токсичных газов HF, HCl, H_2S, SO_2 — $2 \cdot 10^4$ т.

Химический состав пепла вулкана Эбеко (извержение 1987—1990 гг.) мас. %

Компоненты	Дата отбора / проба №					
	1988 г.		1989 г.			
	3.II/1	26.VII/2	29.VII/3	30.VI/4	17.XII/5	17.XII/6
SiO ₂	60,08	57,44	58,34	58,56	59,82	54,94
TiO ₂	0,85	0,82	0,84	0,86	0,83	0,81
Al ₂ O ₃	16,42	18,26	17,53	16,69	16,86	18,68
Fe ₂ O ₃	4,83	3,13	3,59	3,09	2,79	3,19
FeO	3,48	4,52	3,63	4,95	4,61	4,41
MnO	0,18	0,18	0,18	0,21	0,17	0,17
MgO	2,54	2,86	2,86	3,28	3,06	3,53
CaO	5,32	6,28	6,50	6,04	6,62	7,36
Na ₂ O	2,60	2,65	2,43	2,65	2,60	3,08
K ₂ O	1,88	2,02	1,80	2,02	1,91	2,30
P ₂ O ₅	0,13	0,21	0,20	0,19	0,19	0,18
H ₂ O ⁻	0,12	0,10	0,10	0,09	0,09	0,08
H ₂ O ⁺	1,42	1,21	2,37	1,09	0,32	0,99
Сумма	00,85	99,68	100,37	99,72	99,87	99,72

Таблица 2

Химический состав и количество газов, поступивших за период извержений вулкана Эбеко с ноября 1987 по февраль 1990 г.

Компоненты	Эруптивные газы			Фумарольные газы		
	% мол	% вес	т	% мол	% вес	т
H ₂ O	97,21	93,26	1,8 · 10 ⁶	97,90	95,5	2,8 · 10 ⁶
HF	0,01	0,01	1,9 · 10 ²	4,6 · 10 ⁻⁴	5 · 10 ⁻⁴	14,6
HCl	0,14	0,26	5,0 · 10 ³	0,07	0,13	3,8 · 10 ³
H ₂ S	0,36	0,69	1,3 · 10 ⁴	0,08	0,15	4,4 · 10 ³
SO ₂	0,14	0,48	9,2 · 10 ³	0,15	0,51	1,5 · 10 ⁴
CO ₂	1,85	4,33	8,3 · 10 ⁴	1,74	3,64	1,1 · 10 ⁵
CO	1,3 · 10 ⁻⁴	1,9 · 10 ⁻⁴	3,6	6,9 · 10 ⁻⁶	5 · 10 ⁻⁶	0,15
CH ₄	2,8 · 10 ⁻⁵	2,4 · 10 ⁻⁵	0,5	4,2 · 10 ⁻⁵	2,4 · 10 ⁻⁵	0,7
H ₂	0,05	5,4 · 10 ⁻³	1 · 10 ²	1,1 · 10 ⁻³	1,2 · 10 ⁻⁴	3,5
N ₂	0,23	0,35	6,7 · 10 ³	0,04	0,06	1,8 · 10 ⁴
Ar	1,1 · 10 ⁻³	2,2 · 10 ⁻³	42	3,8 · 10 ⁻⁴	7,4 · 10 ⁻⁶	0,21
O ₂	6,1 · 10 ⁻³	0,01	1,9 · 10 ²	6,3 · 10 ⁻³	0,01	2,9 · 10 ²

Примечание. «Эруптивные газы» даны по составу летучих пеплогазовых бокс: Гремучая в 1968 г. и Пепловая в 1989 г.; «Фумарольные газы» — средний состав газов фумарол всех фумарольных полей за период 1987—1991 гг.

Вынос микроэлементов (в том числе металлов). Фумаролами вулкана Эбеко выносятся ~0,02 т/сут элементов [4], главным образом Al, Fe, Zn, а также металлов, образующих токсичные соединения — K, Hg, P, As, Pb, Cd и др. (5 · 10⁻³ т/сут). Всего в окружающую среду с октября 1987 г. было вынесено в составе фумарольных и эруптивных газов 60 т Al, Fe, Zn, 15 т K, Hg, P, As, Pb, Cd и др. Вынос металлов осуществляется также водами рек, стекающих с восточного и западного склонов вулкана [6]. Например, р. Юрьева выносит в Охотское море ~60 т/сут Al, 40 т/сут Fe.

Характер извержений вулкана Эбеко

Отсутствие в твердых и газообразных продуктах эксплозивной деятельности ювенильного материала, слабая или вообще отсутствующая сейсмичность, значительное содержание H_2O и низкая температура эруптивных и фумарольных газов позволяют отнести последние извержения вулкана Эбеко к фреатическим. Под фреатическими извержениями в вулканологической литературе понимаются такие, в которых не принимает участия магма (ювенильный материал). Основным продуктом подобных извержений является вода, которая может нагреваться на контакте с неглубоко залегающим магматическим очагом. Достигнув критических давлений, превышающих давление кровли вулканического аппарата, пар вырывается с раздроблением перекрывающих пород.

Фреатические извержения вулкана Эбеко, возможно, определяются наличием неглубоко расположенного магматического очага, над которым широко развиты гидротермально измененные породы, образующие непроницаемую «шапку», и проницаемые породы, являющиеся коллектором гидротермальных флюидов. Предполагается, что между кровлей магматического очага и дном Северного кратера существует геотермальный резервуар (рис. 4). Резервуар питается флюидами, образующимися при нагревании метеорных вод. Частичная разгрузка флюидов из резервуара осуществляется по трещинам в своде «шапки» с образованием выходов долгоживущих фумарол.

Для активизации вулкана и фреатических извержений необходимо нарушение достигнутого к определенному моменту критического состояния гидротермального резервуара. Спровоцировать это нарушение могли сейсмические события. Так, за 1,5 мес до начала периода извержений на расстоянии до 200 км от вулкана произошло семь сильных тектонических землетрясений (магнитуда по сейсмостанции Северо-Курильск — $M = 6,0$, $M^{\max} = 7,0$ [5]). Ранее отмечалось понижение уровня грунтовых вод по высыханию грязевых и кипящих котлов в районе Северо-Восточного термального поля [4]. Это, возможно, было вызвано оттоком грунтовых вод по вновь образовавшимся трещинам в область геотермального резервуара. В результате этого в резервуаре произошел подъем давления, что привело к выбросу части материала, заполнявшего его верхние горизонталы.

За месяц до резкого усиления извержения в марте—апреле 1989 г. был отмечен уход воды из озера в соседнем Среднем кратере. Судя по всему, воды озера проникли в область геотермального резервуара. Это привело к подъему давления флюидов в резервуаре и увеличению их расхода через жерло в Северном кратере. Понижение давления флюидов, вызванное их извержением, явилось причиной ослабления активности и дальнейшего ее прекращения.

Распространение продуктов активности и вулканическая опасность для г. Северо-Курильск

Фреатические извержения вулкана Эбеко представляют опасность для г. Северо-Курильск: выпадение пеплов, заражение атмосферы и заражение речных и питьевых вод.

Распространение вулканических пеплов и их выпадение в черте г. Северо-Курильск. Основная масса пеплов, выпадавших из эруптивного облака в период извержения 1987—1990 г., распространялась в северо-северо-восточном и юго-юго-восточном направлениях от вулкана (рис. 5). Город Северо-Курильск был затронут пеплопадами в меньшей степени. Замеры количества пепла, проведенные во время пеплопадов в период 1987—1990 гг., показали, что во время извержения вулкана на площади в границах города выпало $\sim 4 \cdot 10^3$ т пеплов. Это соответствует слою пеплов в 0,1 см.

Если принять, что за период извержений (2,5 года) пепел выпадал постоянно, то в пределах города каждый день выпадало около 3 кг пепла. Количество воднораствори-

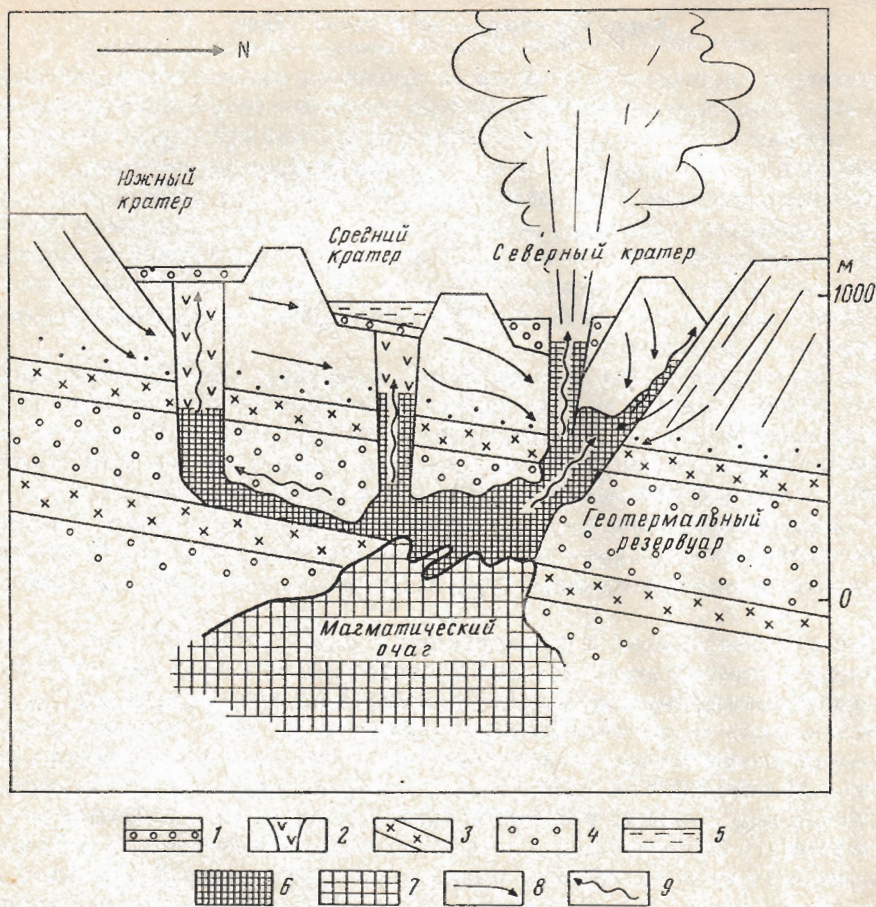


Рис. 4. Схематическое изображение внутреннего строения вулкана Эбеко. 1 — Кратерно-озерные отложения; 2 — взрывная брекчия; 3 — породы непроницаемой «шапки»; 4 — проницаемые породы; 5 — кратерное озеро; 6 — предполагаемый геотермальный резервуар; 7 — предполагаемый магматический очаг; 8 — движение грунтовых вод; 9 — движение гидротермальных флюидов. Масштаб приближительный

мых веществ на пепловых частицах (в основном хлоридов и сульфатов) невелико, 0,03—0,07 г/100 г пепла, но оно может оказывать влияние на окружающую среду в пределах города (поверхностные и подземные воды, почвы, атмосферу), особенно во время снеготаяния весной и летом.

Однако при отмеченной интенсивности фреатических извержений на вулкане Эбеко и при преобладающих ветрах в окрестностях города пепла выпадало мало, и он не принес ущерба постройкам города. Вместе с тем тонкий слой пепла покрыл растительность, что привело к некоторым затруднениям в сельскохозяйственных работах и бытовому дискомфорту.

Распространение вулканических газов и опасность заражения атмосферы в черте города. При западных ветрах вулканические газы достигают воздушного бассейна города, что безошибочно устанавливается по наличию характерного запаха H_2S . Иногда ощущается запах SO_2 .

С декабря 1987 г. местной аэрологической станцией проводятся регулярные определения H_2S и SO_2 в приземных слоях воздуха в черте города (рис. 6). Во время периодов извержений концентрации SO_2 достигали 0,5 мг/м³, а H_2S — 0,1 мг/м³. Нами определения H_2S и SO_2 проводились во время полевых работ в районе вулкана в 1989—1991 гг.

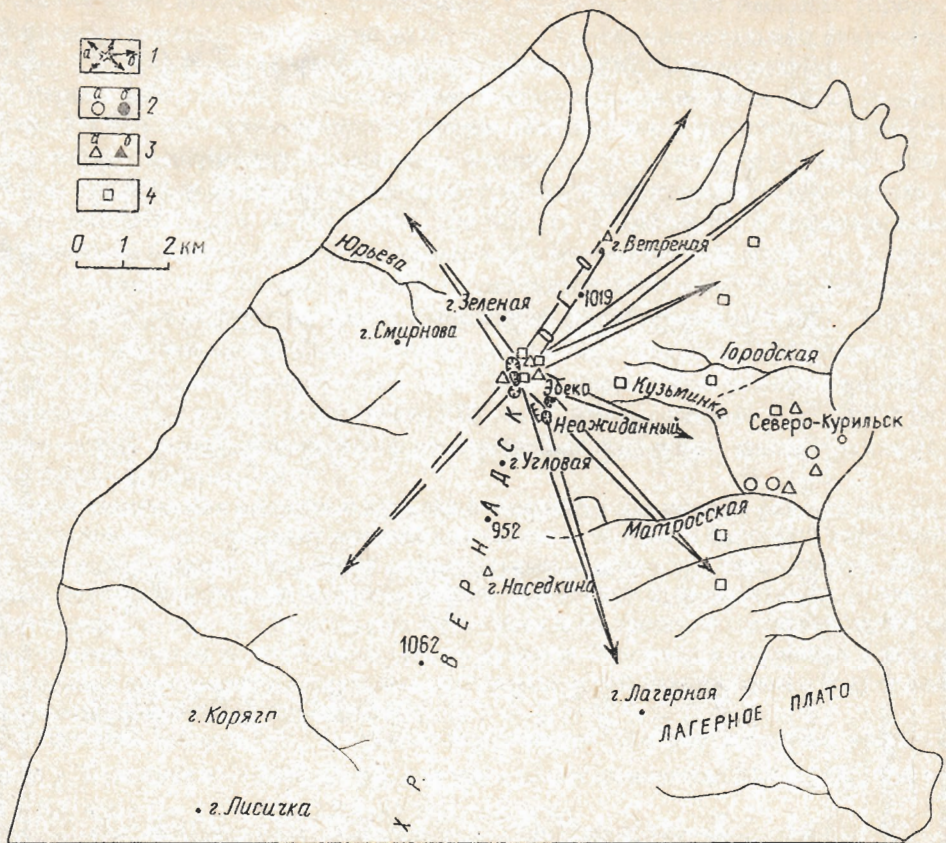


Рис. 5. Схематическая карта распространения твердых и газообразных продуктов извержений вулкана Эбеко и точек отбора проб для оценки вулканической опасности г. Северо-Курильск. 1 — направление пеплопадов: а) предпологаемое, б) наблюдавшееся; 2 — точки отбора проб воды: а) из скважины; б) из реки и водопровода; 3 — точки отбора проб: а) воздуха; б) из кратерных фумарол; 4 — точки отбора проб пепла

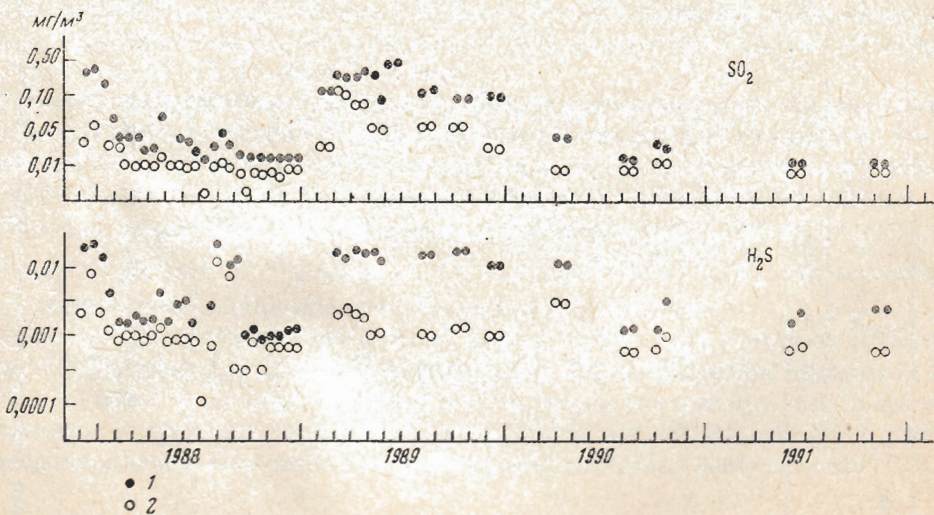


Рис. 6. Результаты определения SO_2 и H_2S в воздухе г. Северо-Курильск в период 1987—1991 гг. Измерения проводились с помощью прибора Атмосфера 2 раза в сутки. На график нанесены максимальные (1) и минимальные (2) значения концентрации за каждые 15 сут

Химический состав воды реки Кузьминки, мг/л

Компоненты	Дата отбора / проба, №													
	1987		1988			1989				1990			1991	
	2.IV/1	20.IV/2	8.VI/3	26.I/4	27.II/5	2.IV/6	27.VI/7	23.III/8	13.VI/9	16.VI/10	16.VI/11			
H ⁺	0,03	3,99	0,33	—	—	0,12	0,14	0,36	0,60	0,33	—			
Li ⁺	—	—	—	0,003	0,003	0,003	—	—	—	0,003	—			
NH ₄ ⁺	0,10	0,15	<0,1	<0,1	<0,1	0,10	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	
Na ⁺	9,7	14,5	11,7	12,6	12,0	13,6	15,5	10,4	8,8	10,6	7,4			
K ⁺	2,3	3,8	1,9	3,2	3,2	3,6	5,8	3,2	2,5	2,6	1,9			
Ca ²⁺	19,2	36,0	14,8	31,0	31,0	34,0	14,4	36,0	26,9	27,3	13,1			
Mg ²⁺	3,9	10,7	2,9	5,5	7,3	7,3	4,4	8,7	5,1	5,4	3,7			
Fe ³⁺	<0,5	3,3	2,8	<0,5	<0,5	<0,5	0,7	2,0	3,0	2,8	1,7			
Fe _{общ}	2,7	14,0	7,5	7,5	7,7	7,7	8,3	7,2	14,6	10,1	6,7			
Al ³⁺	0,15	—	0,10	—	—	—	0,3	—	—	—	—			
Mn ²⁺	<0,1	—	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	—	—	—	<0,1			
Cu ²⁺	<0,1	—	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,20	—	—	—	<0,1			
Zn ²⁺	<0,5	—	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,25	—	—	—	<0,5			
Pb ²⁺	2,10	9,12	2,86	3,46	3,61	3,97	3,02	4,32	4,57	3,93	2,16			
ΣК, мг-экв/л	0,22	0,64	0,51	0,70	0,80	0,40	0,58	0,50	0,90	0,53	0,35			
F ⁻	19,5	95,0	31,7	28,4	31,2	41,1	37,7	54,6	57,4	43,6	2,56			
Cl ⁻	76,8	298	97,3	125	130	134	96,5	134,4	119,1	134,6	69,4			
SO ₄ ²⁻	—	48,5	0,71	—	—	0,97	—	0,97	2,9	1,0	—			
HCO ₃ ⁻	2,16	9,41	2,95	3,44	3,63	3,98	3,10	4,38	4,18	4,07	2,18			
ΣК, мг-экв/л	<1,0	5,4	2,7	2,7	4,7	2,7	<1,0	<0,5	<2,5	<0,5	<2,5			
H ₂ PO ₄ ⁻	47,0	105,0	32,0	83,8	83,8	80,2	110,0	96,5	81,6	93,8	35,0			
H ₂ SiO ₄ ²⁻	181,60	638,98	206,95	300,4	311,7	325,79	294,52	354,83	323,4	332,66	164,85			
M	4,50	2,45	3,50	4,14	4,21	3,96	3,87	3,47	3,26	3,50	4,10			
pH														

Примечание. Прочерк (—) в этой и других таблицах означает, что определения не проводились. ΣК — сумма катионов, ΣА — сумма анионов. М — общая минерализация. Пробы № 3 и 11 отобраны в устье реки, остальные пробы отобраны по течению выше ДЭС г. Северо-Курильск. Все анализы водных проб проведены в ЦХЛ ИВ ДВО РАН.

Анализ проб показал, что содержание CO_2 в воздушном бассейне города увеличивалось в периоды извержений до 0,2 об. %. Содержание остальных вулканических газов — CH_4 , CO , H_2 — не превышало их содержания в обычном воздухе.

В период извержений и межэруптивной деятельности вулкана Эбеко токсичные газы H_2S и SO_2 достигали пределов города. Максимальная концентрация SO_2 в воздухе в период извержений поднималась в нескольких случаях до $0,5 \text{ мг/м}^3$, что превышало предельно допустимые среднесуточные концентрации SO_2 в воздухе населенных мест (ПДК_{сс}) в 10 раз. ПДК_{сс} для SO_2 [1] — $0,05 \text{ мг/м}^3$. В перерывах между извержениями максимальная концентрация SO_2 составляла $0,05 \text{ мг/м}^3$, т.е. в пределах ПДК_{сс}. Минимальная концентрация SO_2 составляла $0,008 \text{ мг/м}^3$. Максимальная концентрация SO_2 в воздухе во время извержения была на уровне ПДК_{мр} (предельно допустимой разовой максимальной концентрации SO_2 в воздухе населенных мест [1]).

Для H_2S ПДК_{сс} составляет $0,008 \text{ мг/м}^3$ [1]. В период извержений максимальная концентрация H_2S в воздухе достигала $0,06 \text{ мг/м}^3$, что превышало ПДК_{сс} в 7,5 раза. В период между извержениями были отмечены максимальные концентрации H_2S не выше $0,001$ — $0,005 \text{ мг/м}^3$.

Вынос химических веществ с вулкана и опасность заражения речных вод. Основным водотоком, по которому происходит вынос вещества в бассейн Тихого океана, является р. Кузьминка. Она берет начало из руч. Лагерного, питающегося кислыми водами термальных полей вулкана Эбеко, протекает в черте города и впадает в Тихий океан (см. рис. 3). Питание рек Кузьминки и Матросской осуществляется также путем таяния снегов на восточном склоне вулкана. В период извержений в этом секторе вулкана происходят интенсивные пеплопады, и при таянии снега в воду попадают легкорастворимые вещества пеплов.

Ежесуточно водами руч. Лагерного переносится ~5 т растворенных веществ [6]. Расход р. Кузьминки — 3800 л/с [6], в сутки в океан выносятся: $22,8 \text{ т SO}_4^{2-}$, $8,4 \text{ т Cl}^-$, $2,4 \text{ т Na}$, $4,3 \text{ т Ca}$, $1,2 \text{ т Mg}$, $2,2 \text{ т Al}$, $0,60 \text{ т K}$ и др.

Значение pH вод р. Кузьминки весьма низкое (табл. 3). Подкисление вод реки и увеличение минерализации особенно заметно в весенние и летние месяцы (табл. 3 № 3, 6—8), что, возможно, связано с поступлением воднорастворимой части пеплов, выпавших во время извержений, в периоды интенсивного снеготаяния. Содержание основных анионов и катионов ниже ПДК_в (предельно допустимые концентрации химических веществ для воды водоема [1]). Вместе с тем содержание таких компонентов вод р. Кузьминки, как Al , Fe , Ca , H_3BO_3 , H_4SiO_4 превышает ПДК_в соответственно в 3—18, 1,4—7, 2,5—7, 27—54 и 2—3 раза.

Опасность заражения питьевых вод. Отбор и анализ питьевых вод осуществлялся для оценки влияния продуктов вулканической деятельности на их качество. В табл. 4 приведен химический состав вод из водопровода г. Северо-Курильск, отобранных в период извержений (пробы № 2—9) и в периоды относительного покоя вулкана.

Концентрации компонентов питьевых вод (катионов — NH_4^+ , Li^+ , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} , Pb^{2+} и анионов — F^- , Cl^- , SO_4^{2-}) ниже ПДК_в. Эти концентрации не должны ухудшать гигиенические условия водопользования.

Вместе с тем концентрация бора (в форме H_3BO_3), для которого ПДК_в равно $0,1 \text{ мг/л}$ [1], для некоторых проб питьевой воды г. Северо-Курильск превышает ПДК_в в 12 раз (табл. 4, № проб 5, 7 и 10) как во время извержения, так и после его окончания. Отмечается также превышение ПДК_в для Al^{3+} в пробе 5 (см. табл. 4) в период извержения. Концентрация кремния (в форме H_4SiO_4) ниже значения ПДК_в.

Химический состав литьевого воды (г. Северо-Курильск), мг/л

Компоненты	Дата отбора / проба, №									
	1988		1989				1990		1991	
	22.IV/1	15.VI/2	24.I/3	6.IV/4	27.II/5	29.VI/6	20.XII/7	20.III/8	17.VI/9	
NH_4^+	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,15	< 0,1	0,20	0,10	< 0,1	0,10	
Li^+	—	—	0,001	—	< 0,003	0,001	—	—	0,001	
Na^+	7,8	6,6	7,4	8,0	6,5	7,0	6,5	5,7	6,6	
K^+	1,6	1,6	1,8	1,9	1,6	2,3	1,4	1,9	1,4	
Ca^{2+}	14,0	15,2	15,6	15,2	12,8	19,8	12,2	13,6	14,6	
Mg^{2+}	1,9	2,4	2,4	1,9	2,4	3,5	1,9	3,4	1,8	
Fe^{3+}	0,0	—	< 0,5	—	< 0,3	< 0,5	—	—	< 0,5	
Al^{3+}	—	—	—	—	1,1	0,3	—	—	—	
Mn^{2+}	—	—	—	—	0,1	0,2	—	—	—	
Cu^{2+}	—	—	< 0,1	—	< 0,1	< 0,1	—	—	—	
Zn^{2+}	—	—	< 0,1	—	0,025	0,1	—	—	—	
Pb^{2+}	—	—	< 0,5	—	< 0,25	< 0,25	—	—	—	
ΣК, мг-экв/л	1,24	1,29	1,35	1,33	1,29	1,69	1,09	1,26	1,22	
F ⁻	0,12	0,36	0,80	0,18	0,20	0,58	0,04	0,10	0,1	
Cl ⁻	8,5	10,6	9,2	9,9	8,5	16,3	8,5	9,2	8,9	
SO ₄ ²⁻	50,9	53,3	52,3	48,0	45,1	59,6	38,4	48,0	50,5	
HCO ₃ ⁻	0,0	0,0	1,2	6,1	7,3	1,8	0,0	3,6	0,0	
ΣА, мг-экв/л	1,31	1,43	1,41	1,39	1,31	1,76	1,04	1,33	1,31	
H ₂ BO ₃	< 0,5	< 0,5	1,3	< 0,5	1,2	1,2	< 0,5	< 0,5	1,2	
H ₄ SiO ₄ общ	48,0	48,0	49,5	48,6	48,0	51,0	45,0	52,5	53,4	
М	132,82	138,06	140,2	139,93	134,83	163,88	114,04	138,0	138,6	
pH	4,65	4,51	4,56	4,72	4,64	4,84	4,60	4,48	4,50	

Заключение

Комплексное изучение продуктов последней активности вулкана Эбеко и их распространения как во время извержения, так и в периоды обычной фумарольной деятельности показало, что во время извержения г. Северо-Курильск могут угрожать: 1) пеплопады; 2) кратковременное отравление атмосферы вулканическими газами; 3) отравление речных вод; 4) отравление питьевых вод. Активизация вулкана увеличивает опасность от распространения пеплов и газов. В состоянии обычной фумарольной деятельности вулкан опасности городу не представляет.

В деятельности вулкана отмечена четкая периодичность. Периоды фреатических извержений продолжаются 2—4 года (1934—1935, 1967—1971, 1987—1990 гг.). Периоды межэруптивной деятельности (спокойное состояние) продолжаются 20—30 лет. На основании этих данных можно прогнозировать возникновение опасности от фреатических извержений для г. Северо-Курильск.

Однако в геологической истории вулкана выделяются более мощные фреатомагматические и магматические извержения. Об этом свидетельствуют: наличие свежих крупных вулканических бомб вблизи кратера, свежий лавовый поток на западном склоне и эксплозивный кратер на восточном склоне вулкана. Иной, чем фреатический, тип извержения имеет свои особенности и может представлять большую угрозу. При магматических (вулканско-стромболианских) извержениях могут образовываться лавовые потоки и горчие пирокластические отложения, вызывающие таяние снегов и возникновение грязевых потоков (лахаров). Лахары могут возникать и при прорыве кратерного озера.

Город Северо-Курильск расположен в устье долины р. Кузьминки. Верховья долины находятся в пределах активного конуса вулкана (см. рис. 5). Лавовые и грязевые потоки должны неизбежно достигать г. Северо-Курильск по долине р. Кузьминки (расстояние от активного конуса вулкана Эбеко до предместья г. Северо-Курильск всего 9—10 км).

Постоянные режимные наблюдения за составом газов и температурой фумарол вулкана должны дать информацию о приближающейся активности и предупредить угрозу вулканической опасности. Результаты слежения за составом вулканических газов с целью поиска прогностических признаков извержений будут представлены в следующей статье.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Безмятников Г.П., Кротов Ю.А.* Предельно допустимые концентрации химических веществ в окружающей среде. Л.: Химия, 1985. 528 с.
2. *Мархинин Е.К.* Роль вулканизма в формировании земной коры. М.: Наука, 1967. 254 с.
3. *Меняйлов И.А., Никитина Л.П., Храмова Г.Г.* Газо-гидротермальное извержение вулкана Эбеко в 1967 г. // Бюл. вулканол. станций. 1969. № 45. С. 3—6.
4. *Меняйлов И.А., Никитина Л.П., Шапарь В.Н.* Особенности химического состава фумарольных газов в межэруптивный период деятельности вулкана Эбеко // Вулканология и сейсмология. 1988. № 4. С. 21—36.
5. *Меняйлов И.А., Овсянников А.А., Широков В.А.* Извержение вулкана Эбеко в октябре—декабре 1987 г. // Вулканология и сейсмология. 1988. № 3. С. 105—108.
6. *Никитина Л.П.* Миграция металлов с активных вулканов в бассейн седиментации. М.: Наука, 1978. 80 с.
7. *Флеров Г.Б., Иванов Б.В., Андреев В.Н. и др.* Вещественный состав продуктов извержения вулкана Алайд в 1981 г. // Вулканология и сейсмология. 1982. № 6. С. 28—43.

Институт вулканологии ДВО РАН,
Петрапавловск-Камчатский

Поступила в редакцию
14.02.1991