

УДК 551.21

ЭРУПТИВНАЯ АКТИВНОСТЬ ВУЛКАНА ЭБЕКО (о. ПАРАМУШИР) В 2010-2011 гг.© 2012 Т.А. Котенко, Л.В. Котенко, Е.И. Сандиминова, **В.Н. Шапарь**, И.Ф. Тимофеева*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, 683006; e-mail: kotenko@sakhalin.ru*

Приведены сведения об эруптивной активности вулкана Эбеко на о. Парамушир в 2010–2011 гг. (Северные Курилы): 28 апреля (предположительно) и 2 июля 2010 г. – слабые кратковременные извержения из Северного кратера с выбросом резургентных пеплов весом 1.2 и 95 т; 16–17 июля 2011 г. (ориентировочно) – серия гидротермальных взрывов в Среднем кратере. Морфологические изменения затронули дно и юго-западную стенку последнего. Максимальная дальность разноса пепла составила 560 м. Перед всеми извержениями зафиксировано изменение химического состава фумарольных газов. Извержение 2 июля 2010 г. предвлялось сейсмической подготовкой.

Ключевые слова: вулкан Эбеко, извержение, резургентный пепел, гидротермальный взрыв, фумаролы.

ВВЕДЕНИЕ

Действующий андезитовый (Горшков, 1957) вулкан Эбеко находится в северной части хребта Вернадского о-ва Парамушир (Курильские о-ва), в 6 км от г. Северо-Курильск. В историческое время для него были характерны периодически повторяющиеся фреатические и фреатомагматические извержения, которые продуцируются в гидротермальной зоне глубиной до 2.5 км, контактирующей с гипабиссальными телами габбро-диоритов (Белоусов и др., 2002; Мелекесцев и др., 1993). Зафиксированы исторические извержения вулкана Эбеко в 1793 г., 1833–1834 гг., 1859 г., 1934–35 гг., 1963 г., 1965 г., 1967–1971 г., 1987–1991 гг., 2009 г. (Горшков, 1957; Гущенко, 1979; Котенко и др., 2010; Мелекесцев и др., 1993). В активности вулкана Эбеко наблюдается хорошо выраженная ритмичность: продолжительность замкнутого эруптивного цикла составляет 20–30 лет. Период покоя (постоянная умеренная фумарольная деятельность) может длиться 10–20 лет, предэруптивный период – около четырех лет. Эруптивный период может включать в себя несколько эксплозивных извержений: от кратковременных до продолжительных (несколько месяцев). Общая длительность эруптивного периода вместе с промежутками относительного покоя между извержениями составляет один-четыре года.

Геохимические предвестники извержений 2010–2011 гг. Геохимические данные за 2010–2011 гг. показали изменения в разной степени газового состава в течение каждого из предшествующих эруптивным событиям периода. В таблице 1 приведены рассчитанные для разных полей прогностические отношения, где указаны пороговые значения, характерные для спокойного состояния вулкана. Значение параметра выше (для отношений S/Cl, H₂O/CO₂, S/C, CO₂/H₂) или ниже (H₂S/SO₂, CH₄/CO₂) порогового связано с предэруптивными процессами. Пороговые значения параметров определены по данным газовых анализов авторов с 2003 по 2011 гг. и литературным источникам (Меняйлов и др., 1988; Никитина и др., 1989).

Для апрельского извержения 2010 г. слабо выраженные предвестники проявились за 2.5 месяца до события для газов поля Северо-Восточное (рис. 1): увеличение отношения CO₂/H₂, уменьшение отношений H₂O/CO₂, H₂S/SO₂. Следовательно, SO₂ стал доминирующей разновидностью серы в этой области и увеличилось поступление с газами CO₂. Одновременно для газов поля Июльское наблюдался рост отношений S/Cl, S/C. В то же время температуры разгрузок и общий поток газов остались постоянными. Изменения компонентного состава газов коснулись только фумарольных полей, прилегающих к Северному кратеру, где и произошло извержение.

ЭРУПТИВНАЯ АКТИВНОСТЬ ВУЛКАНА

Таблица 1. Прогностические отношения компонентов фумарольных газов вулкана Эбеко.

Фумарольное поле	Дата	S\Cl	H ₂ S/SO ₂	H ₂ O/CO ₂	S/C	CO ₂ /H ₂	CH ₄ /CO ₂ · 10 ⁻⁶
Июльское	12.02.2010	3.34	0.55	284	0.29	178	4.9
	11.05.2010	33.39	0.45	209	0.22	260	2.56
	24.03.2011	10.55	1.65	176	0.101	79.5	2.55
Северо-Восточное	12.02.2010	1.65	0.13	53.8	0.077	71545	26.0
	11.05.2010	46.26	0.092	64.9	0.16	45833	38.8
	9.08.2011	9.52	0.187	7.08	0.011	104444	1.7
Юго-Восточное	11.05.2010	53.27	0.096	5.3	0.145	73954	1.4
	24.03.2011	0.89	0.364	52.1	0.299	13009	2.25
	20.09.2011	0.42	0.39	26.42	0.124	99270	0.22
Первое Восточное	06.03.2011	7.22	11.44	1.2	0.144	92502	0.43
Южный кратер	20.09.2011	1.35	1.58	0.06	0.044	1884	0.64
Пороговое значение		2.00	0.50	60.0	0.1	11000	1

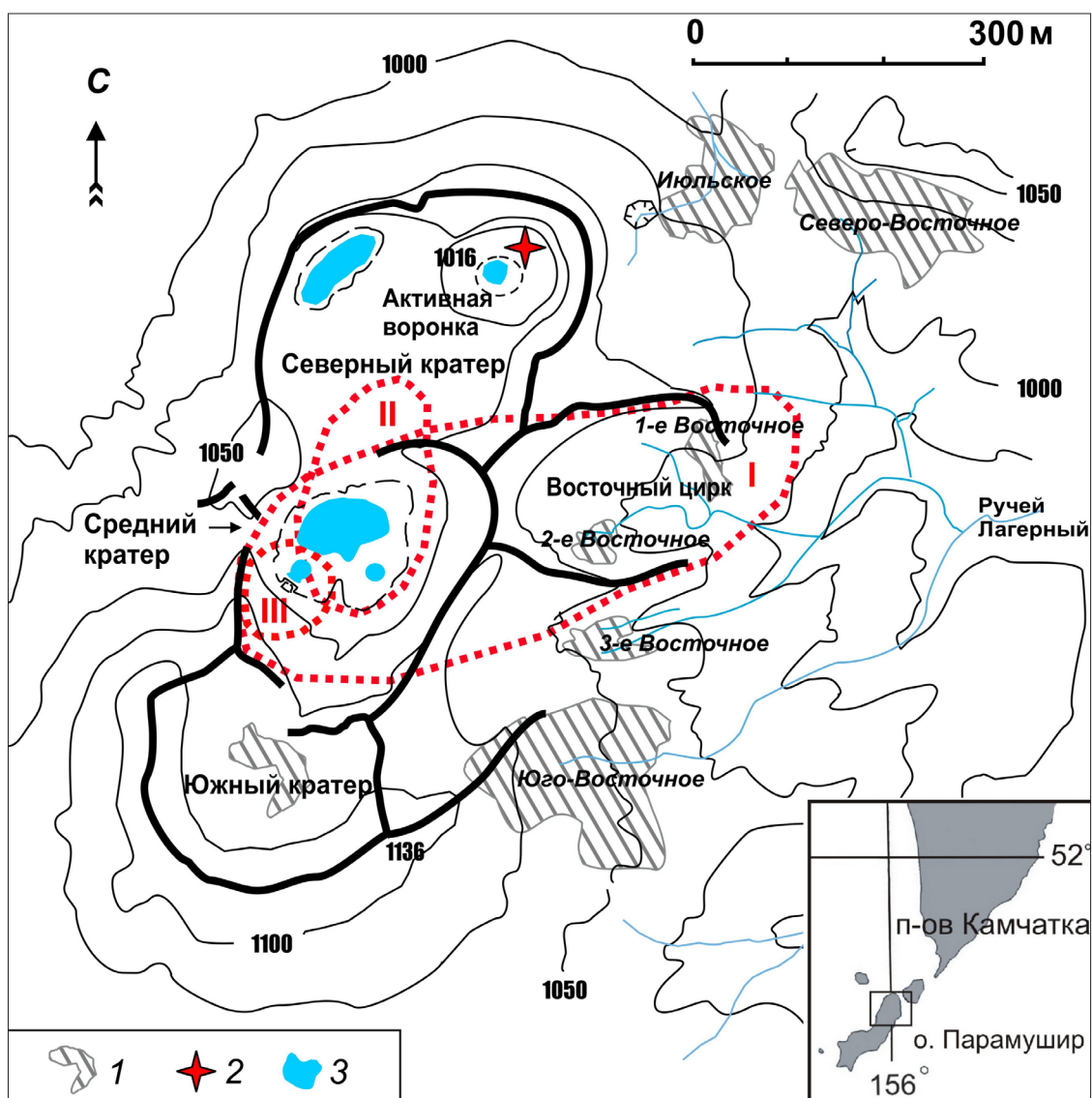


Рис. 1. Схема вулкана Эбеко (Мелекесцев, Двигаго и др., 1993) с изменениями: 1 – фумарольные поля, 2 – эруптивное жерло извержений 2009-2010 гг., 3 – кратерные озера. Пунктиром очерчены области отложения пеплов гидротермальных взрывов 16-17 июля 2011 г. Римскими цифрами указаны номера воронок взрыва, последние два взрыва объединены под цифрой III.

Менее чем за два месяца до извержения 2 июля 2010 г. в составе газов фумарол трех полей, независимо от расстояния до центра извержения, произошли изменения. Везде наблюдался рост отношений S/Cl, S/C, рост содержания в составе газовой смеси CO_2 , N_2 , Ag и увеличение содержания сернистого газа относительно сероводорода. Изменения не коснулись температуры газов и их общего потока.

Гидротермальные взрывы 2011 г. также предварялись геохимическими предвестниками, которые проявились в газовом составе фумарол поля Июльское, где выросло отношение S/Cl; на поле Юго-Восточное уменьшились отношения $\text{H}_2\text{S}/\text{SO}_2$, $\text{H}_2\text{O}/\text{CO}_2$, одновременно наблюдался рост отношения S/C, газы поля фумаролы Флоренского продемонстрировали рост отношений S/Cl, S/C, CO_2/H_2 , падение — $\text{H}_2\text{O}/\text{CO}_2$, CH_4/CO_2 . Предвестники появились более чем за четыре месяца до извержения, приуроченного к Среднему кратеру. Температурный режим газовых проявлений менялся незначительно.

Извержения вулкана Эбеко в 2010 г. В 2009 г. вулкан Эбеко вступил в новый эруптивный цикл, начавшийся фреатическим извержением, длившемся с 27.01 по 18.06.2009 г. (Котенко и др., 2010). После окончания извержения сохранялась высокая фумарольная активность. Тепловая мощность фумарольных струй составляла в среднем 250 МВт при фоновой в межэруптивный период

~ 30 МВт, главный вклад вносило эруптивное жерло Северного кратера.

В 2010 г. произошли два кратковременных эксплозивных извержения из Активной Воронки Северного кратера, вновь приуроченные к жерлу 2009 г. (рис. 1). Дата первого события, предположительно, 28 апреля. Оно непосредственно не наблюдалось из-за плохой погоды и установлено по пепловым отложениям в прикратерной зоне. Тефра отложилась в радиусе ≤ 300 м от эруптивного жерла. Вес изверженного материала составил ~ 1.2 т. Второе извержение произошло 2 июля: одиночный пепловый выброс, длившийся 1 ч 27 мин. Поднявшийся пепловый столб достиг высоты 700 м над кратером, после чего образовался расширяющийся шлейф длиной около 7 км (рис. 2). Шлейф был ориентирован на восток, в сторону г. Северо-Курильск, в котором наблюдался слабый пеплопад. Вес изверженного материала по нашим оценкам составил ~ 95 т.

Пеплы отбирались непосредственно вблизи кратера в 60-100 м от эруптивного жерла. Гранулометрический состав пеплов определен стандартным ситовым методом и представлен в табл. 2. В пепле апрельского извержения преобладает фракция < 0.063 мм. Для пеплов извержения 2 июля распределение фракций по размерности имеет бимодальный характер. Первый максимум наблюдается для фракции < 0.063 мм, второй максимум — в области 0.125-0.25 мм. По химическому и минеральному составу свежевывающаяся



Рис. 2. Одиночный взрыв 2 июля 2010 г. Точка съемки в 7 км к юго-востоку от вулкана. Фото С.Н. Шабановой.

Таблица 2. Гранулометрический состав тефры извержений вулкана Эбеко в 2010 г., %

Пробы	Дата отбора	Фракции, мм						
		<0.063	0.063-0.125	0.125-0.25	0.25-0.5	0.5-1.0	1.0-2.0	2.0-5.0
Э – 1/2010	12 мая	86.89	11.50	1.20	0.11	0.15	0.08	0.08
Э – 2/2010	2 июля	52.32	19.42	25.37	1.99	0.30	0.24	

тефра соответствует андезитам нормальной щелочности (табл. 3). График соотношения оксидов (K_2O-SiO_2) в пеплах (рис. 3) показывает, что пеплы извержений 2010 г. относятся к андезитовым разностям, наиболее характерным для пеплов вулкана Эбеко. Что касается наиболее кислых разностей других извержений, то большая часть из них отобрана вдали от кратера. Опубликованные анализы пеплов доисторических извержений (Мелекесцев и др, 1993) выполнены для наиболее полного стратиграфического разреза: точка удалена от кратера на 7.3 км. Наиболее кислые разности проб извержения 2009 г. отобраны на таком же удалении (7-8 км) от кратера. Как известно, при транспортировке пеплов наблюдается дифференциация по химическому составу в сторону увеличения кислотности с удалением от центра извержения (Кириянов, 1983). Особенности химического и минералогического состава пеплов указывают на их резургентную природу: пеплы представлены преимущественно частицами породообразующих минералов, в подчиненном количестве присутствуют минералы гидротермального генезиса. Частицы свежего стекла в пробах отсутствуют.

Авторами был проведен ретроспектив-

Таблица 3. Петрогенные элементы в составе пеплов вулкана Эбеко, масс. %

%	Номер пробы	
	Э-1/2010	Э-2/2010
SiO ₂	58.27	58.29
TiO ₂	0.68	0.60
Al ₂ O ₃	15.37	14.33
FeO _{общ.}	11.39	10.72
MnO	0.28	0.26
CaO	5.24	5.83
MgO	3.86	4.48
Na ₂ O	2.63	3.38
K ₂ O	2.00	1.95
P ₂ O ₅	0.08	0.16

Примечание: Э-1/2010 – пепел извержения 28.04.2010 г.; Э-2/2010 – пепел извержения 2.07.2010 г. Анализы выполнены в аналитическом центре ИВиС ДВО РАН с помощью рентгенофлуоресцентного спектрометра «S4 PIONEER». Аналитики: Е.В. Карташева, Н.А. Чеброва, Н.А. Соловьева, В.М. Рагулина. Все образцы пересчитаны на безводный остаток.

ный анализ сейсмических предвестников извержений: по данным сейсмической станции «Северо-Курильск» извержение 2 июля представлялось сейсмической подготовкой, начавшейся за 21.5 час до пеплового выброса. По классификации вулканических землетрясений (Токарев, 1981) фиксировались взрывные землетрясения четвертого типа, которые обычно сопровождаются парогазовыми или пепловыми выбросами. Для апрельского извержения сейсмические предвестники не зафиксированы.

После извержения 2 июля 2010 г. общая тепловая мощность фумарольных полей все еще превышала фоновую в межэруптивный период в основном за счет теплового потока эруптивно-го жерла и составляла 80-110 МВт.

Активность вулкана Эбеко в 2011 г. была приурочена к Среднему кратеру вулкана Эбеко диаметром по кромке 250-300 м, а по дну – 200 м, глубиной 72 м (Мелекесцев и др., 1993). В кратере ежегодно возникает озеро талой воды. После полного стаивания снежников кратер сохнет. Значительная фумарольная активность здесь не наблюдалась более 40 лет: предыдущее фреатическое извержение было в 1965 г. Слабое линейное парение в кратере сохранялось только в стенке южно-го склона полосой выше уровня дна на 40-60 м.

Ориентировочно 16-17.07.2011 г. в Среднем кратере вулкана произошли четыре гидротермальных взрыва. Первое обследование проведено 2 августа. Изменения морфологии кратера и его современный вид представлены, соответственно, на рис. 4 и 5. Первые два взрыва были приурочены к дну кратера. В момент взрывов жерла располагались под водой. По нашему мнению, первыми произошли взрывы на дне кратера: расстрескавшаяся корка пепловых отложений подстилает выброшенные из жерл в стенке кратера обломки пород. Разделить во времени первые два взрыва не представляется возможным, так как материал взрывов идентичен. Жерла в стенке кратера, скорее всего, возникли одновременно, поэтому они не засыпаны чужим эруптивным материалом. Первая воронка расположена у основания юго-западной стенки, имеет сигмаобразную форму, диаметр 27 м, глубину около 4 м. Она заполнена водой, с трех сторон окружена низким пологим валом, состоящим из влажного тонкого пепла (рис. 6). В период 2-18 августа по всей поверхности заполняющей воронку воды еще выделялся газ, места выхода пузырьков ми-

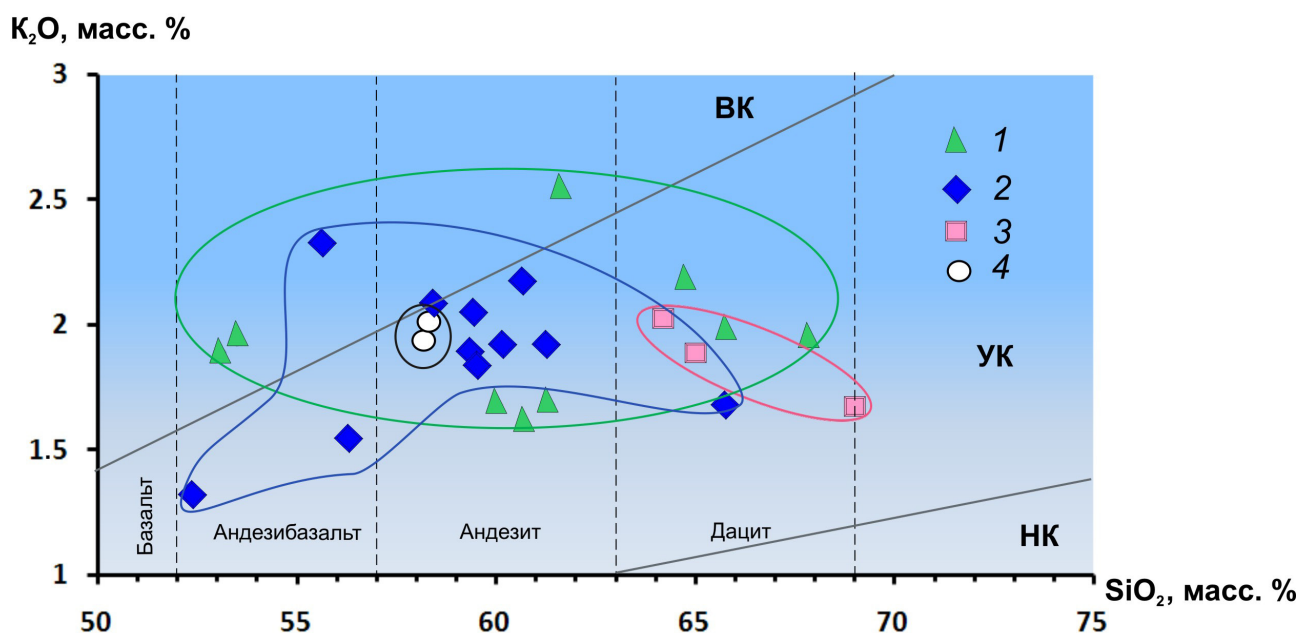


Рис. 3. Соотношение оксидов (K_2O-SiO_2) в пеплах вулкана Эбеко: 1 – пеплы доисторических извержений (Мелекесцев и др., 1993), 2 – пеплы исторических извержений (Мелекесцев и др., 1993, Меняйлов и др., 1992), 3 – пеплы извержения 2009 г., 4 – пеплы извержений 2010 г. ВК, УК и НК – соответственно: высоко-, умеренно- и низкокалиевые поля.



Рис. 4. Средний кратер вулкана Эбеко 20 сентября 2011 г. Фото Т.А. Котенко.

грировали, некоторые пузыри поднимали со дна темные пятна пепла. Оценка содержания некоторых компонентов в воде первой взрывной воронки (изолированной от большого озера) (табл. 4) показала: газовые эманации вызвали увеличение общей минерализации за счет увеличения концентрации компонентов по сравнению с прежними параметрами. Взрыв был наклонный в сторону Восточного цирка, максимальное расстоя-

ние, на которое распространился влажный пепел, составило 560 м.

Вторая взрывная воронка находится у основания юго-восточной стенки, ее диаметр по бровке – 20 м, глубина – около 3 м. Воронка заполнена водой, выделение газа не отмечено. Выброшенный материал – тонкий влажный пепел, выброс наклонный на север, на расстояние 180 м. Анализ гранулометрического состава пеплов

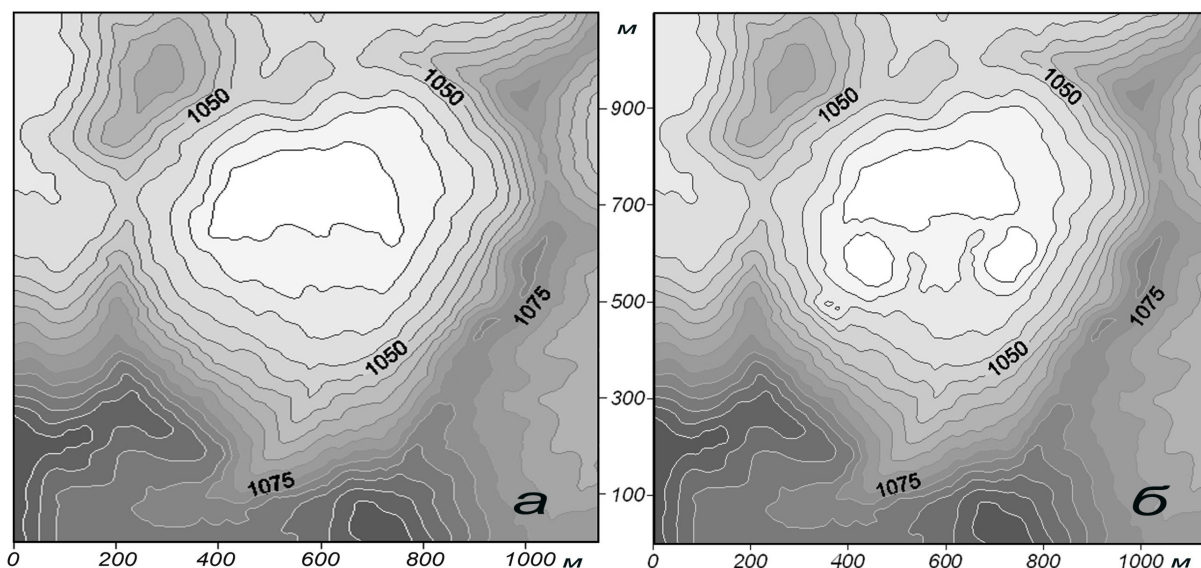


Рис. 5. Изменение морфометрии Среднего кратера в результате серии гидротермальных взрывов 16-17 июля 2011 г.: а – до взрывов, б – после. Использована топографическая основа Двигало В.Н., выполненная в 1989 г.

Таблица 4. Содержание некоторых компонентов в воде озера Среднего кратера

Компоненты	1	2	3
Мг/л	1.72	1.9	2.88
pH	2.76	2.65	2.61
мг/л			
Na ⁺	8.1	2	128
K ⁺	4.3	1.3	59
Ca ²⁺	134.8	40	1002
Mg ²⁺	4.6	0.9	100
Al ³⁺	39	13	144
мкг/л			
Ti	1.8	н.о.	4
Co	н.о.	1.2	0.5
Ba	1.2	1.6	9
As	н.о.	0.047	15
Zn	3	5.4	180
Sr	4	7.8	93
Cu	0.4	13	5
Ga	0.15	0.034	1
Sb	0.2	0.05	0.1

Примечание: 1 – данные за 1970 г. (Храмова, 1987); 2 – данные за 2001, 2003 гг. (Бортникова и др., 2006); 3 – данные авторов, проба отобрана 9 августа 2011 г. Н.о. – не определено. Анализы выполнены в аналитическом центре ИГМ СО РАН, аналитик И.В. Николаева, метод ICP-MS.

первых двух взрывов показал, что он состоит из частиц размером < 0.063 мм. Пепел представлен продуктами разрушения горных пород. Он состоит из мельчайших стекловатых частиц светло-серого цвета, среди которых встречаются частицы рудного минерала черного цвета, вероятнее всего, магнетита. Вокруг больших воронок на дне

кратера на расстоянии до 70 м находятся более 50 маленьких воронок от 0.05 м до 1 м в диаметре и глубиной до 1 м.

Третья и четвертая взрывные воронки расположены над первой в стенке кратера, в обвальных отложениях. Это два сближенных вертикальных жерла на дне общей прямоугольной воронки глубиной ~ 6 м с вертикальными стенками. При взрывах был выброшен разноразмерный обломочный материал осыпей, слагающий внутреннюю стенку кратера, радиус разброса до 50 м. Общий размер образовавшейся воронки по кромке 7×12 м.

Мощность двух первых взрывов была оценена исходя из размеров образовавшихся кратеров по графику, составленному для многочисленных таксонометрических и энергетических оценок гидротермальных взрывов (Wohletz, Heiken, 1992). Объемы первой и второй воронок взрыва по минимальной оценке (часть выброшенного материала обрушилась в кратер и замаскировала его истинную глубину) составили ~ 2.1 × 10³ м³ и 8.5 × 10² м³, что соответствует выделенной энергии 3.7 × 10⁴ МВт и 1.1 × 10⁴ МВт. Энергия всех взрывов в сумме, по самой высокой оценке, не превышает 10⁵ МВт. Сравнение энергии гидротермальных взрывов и мощности тепловой разгрузки естественных термопроявлений (до 250 МВт в период активизации вулкана) показывает, что извержение могло произойти без дополнительного поступления тепла в гидротермальную систему.

ВЫВОДЫ

Начавшийся в 2009 г. новый период эруптивной активности вулкана Эбеко реализовался в 2010 и 2011 гг. слабыми кратковременными



Рис. 6. Первая взрывная воронка Среднего кратера. Фото Л.В. Котенко.

ми извержениями из Северного кратера и серией гидротермальных взрывов в Среднем кратере. Эруптивный материал был представлен тонкими резургентными пеплами.

Перед всеми извержениями наблюдались изменения химического состава газов. К сожалению, длительный процесс обработки газовых проб лишает этот метод мониторинга оперативности в случае достаточно слабых событий, когда процесс подготовки к извержению длится не более 2-3 месяцев, а другие предвестники отсутствуют. Встает вопрос о применении других систем мониторинга, аналогичным, к примеру, разрабатываемым в Италии и Японии сенсорным многопараметровым анализаторам МультиГаз (Shinohara, 2005), дающим возможность оперативного определения в поле основных газовых компонентов (H_2O , CO_2 , H_2S , SO_2 , HCl , H_2 , NF) и расчета некоторых прогностических отношений. При подготовке сильных фреатических извержений изменение компонентного состава газов начинается задолго до события. Например, первые предвестники извержения, начавшегося в январе 2009 г., были зафиксированы в октябре 2003 г. (Котенко и др., 2007), то есть период подготовки длился более пяти лет.

В настоящий момент вулкан Эбеко продолжает находиться в стадии повышенной фу-

марольной активности. Общий поток фумарольных газов и тепловая мощность фумарол (80-110 МВт) превышают параметры, характерные для межэруптивного периода (~ 30 МВт) в основном за счет эруптивного жерла в Активной Воронке Северного кратера. По данным газового анализа за 20 сентября 2011 г. некоторые прогностические соотношения для полей Северо-Восточное, Юго-Восточное и Южного кратера выходят за пределы пороговых (табл. 1) при сохранении температурного режима проявлений. Можно предположить, что эруптивный период вулкана еще не завершен.

Авторы признательны С.Н. Рычагову за всестороннюю помощь при полевых работах, О.В. Соболевской за помощь в анализе сейсмических данных.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 10-05-00009а).

Список литературы

- Белоусов В.И., Рычагов С.Н., Сугробов В.М. Северо-Парамуширская гидротермально-магматическая система: геологическое строение, концептуальная модель, геотермальные ресурсы // Вулканология и сейсмология. 2002. № 1. С. 34-50.

- Бортникова С.Б., Бессонова Е.П., Трофимова Л.Б. и др.* . Гидрогеохимия газогидротермальных источников вулкана Эбеко (о-в Парамушир) // Вулканология и сейсмология. 2006. № 1. С. 39-51.
- Горшков Г.С.* Каталог действующих вулканов Курильских островов // Бюллетень вулканологической станции. 1957. № 25. С. 96-178.
- Гущенко И.И.* Извержения вулканов мира (каталог). М.: Наука, 1979. 474 с.
- Кирьянов В.Ю.* Гравитационная эоловая дифференциация пеплов вулкана Шивелуч (Камчатка) // Вулканология и сейсмология. 1983. № 6. С. 30-39.
- Котенко Т.А., Котенко Л.В., Шапарь В.Н.* Активизация вулкана Эбеко в 2005-2006 гг. (остров Парамушир, Северные Курильские острова) // Вулканология и сейсмология. 2007. № 5. С. 3-13.
- Котенко Т.А., Котенко Л.В., Сандимирова Е.И. и др.* Извержение вулкана Эбеко в январе-июне 2009 г. (о-в Парамушир, Курильские острова) // Вестник КРАУНЦ. Серия «Науки о Земле». 2010. № 1. Вып. 15. С. 56-68.
- Мелекесцев И.В., Двигало В.Н., Кирьянов В.Ю. и др.* Вулкан Эбеко (Курильские о-ва): история эруптивной активности и будущая вулканическая опасность. Ч. 2 // Вулканология и сейсмология. 1993. № 4. С. 24-41.
- Меняйлов И.А., Никитина Л.П., Будников В.А.* Активность вулкана Эбеко в 1987-1991гг.; характер извержений, особенности их продуктов, опасность для г. Северо-Курильск // Вулканология и сейсмология. 1992. № 5-6. С. 21-33.
- Меняйлов И.А., Никитина Л.П., Шапарь В.Н.* Особенности химического и изотопного состава фумарольных газов в межэруптивный период деятельности вулкана Эбеко // Вулканология и сейсмология. 1988. № 4. С. 21-36.
- Никитина Л.П., Меняйлов И.А., Шапарь В.Н. и др.* Геохимия и аналитическая химия конденсатов фумарольных газов вулкана Эбеко (остров Парамушир) // Вулканология и сейсмология. 1989. № 1. С. 62-72.
- Токарев П.И.* Вулканические землетрясения Камчатки. М.: Наука, 1981. 164 с.
- Храмова Г.Г.* Кратерно-озерные отложения: динамика формирования (на примере вулкана Эбеко). Владивосток: ДВО АН СССР, 1987. 136 с.
- Shinohara H.* A new technique to estimate volcanic gas composition: plume measurements with a portable multi-sensor system // JVGR. 2005. V. 143. P. 319-333.
- Wohletz K., Heiken G.* Volcanology and Geothermal Energy. Univ. California Press, 1992. 432 p.

ERUPTION ACTIVITY OF EBЕКО VOLCANO (PARAMUSHIR I.) IN 2010-2011

T.A. Kotenko, L.V. Kotenko, E.I. Sandimirova, V.N. Shapar', I.F. Timofeeva

*Institute of Volcanology and Seismology, Far East Branch Russian Academy of Sciences,
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683006, Russia*

The items of information about eruptions activity of Ebeko volcano in 2010-2011 are resulted. In 2010 from eruption funnel of Northern crater there were two weak short-term explosive eruptions. The eruption was phreatic, the cast out products are submitted by resurgent ashes. Volumes of the thrown out material ~ 1.2 t and ~ 95 t accordingly. All eruptions were anticipated by changes in chemical structure of fumarole gases, before eruption of July 2, 2010 the seismic harbingers were observed. In July, 2011 there was a series of hydrothermal explosions on the average crater of a volcano. The morphological changes have bottom and southwest wall of a crater. The maximal range ejection of ashes did not exceed 560 m.

Keywords: volcano, eruption, phreatic, fumarole, ash, hydrothermal explosion.