

УДК 551.21

ИЗВЕРЖЕНИЕ ВУЛКАНА ЭБЕКО В ЯНВАРЕ - ИЮНЕ 2009 г. (о. ПАРАМУШИР, КУРИЛЬСКИЕ ОСТРОВА)

©2010 Т.А. Котенко, Л.В. Котенко, Е.И. Сандимирова, В.Н. Шапарь, И.Ф. Тимофеева.

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, 683006;
e-mail: kotenko@sakhalin.ru*

Приводятся сведения об эксплозивном извержении вулкана Эбеко на о. Парамушир, которое длилось с 29 января по 18 июня 2009 г. Центр извержения находился в Активной воронке Северного кратера. Характер извержения заключался в постоянном истечении газо-пепловой смеси на высоту до 300-1000 м над кратером и периодическом усилении активности, выражающемся в резком увеличении в струе содержания пепла и увеличении ее дебита. Частота пепловых выбросов составляла от 3 до 15 событий в сутки, высота – 0.5-3.7 км. Извержение было фреатическим, изверженные продукты представлены резургентными пеплами. Объем вынесенного материала ~ 19 тыс. т. Извержению предшествовали изменения в химическом составе фумарольных газов и значительное увеличение их расхода, в том числе за счет образования нового мощного фумарольного поля.

Ключевые слова: вулкан, Эбеко, извержение, эксплозии, резургентный, фреатический, фумаролы, пепел.

ВВЕДЕНИЕ

Действующий андезитовый вулкан Эбеко находится в северной части хребта Вернадского о. Парамушир (Курильские о-ва) в 6 км от г. Северо-Курильск (рис. 1). В результате комплексных (геологических, геоморфологических, тефрохронологических) работ современная активность вулкана Эбеко отнесена к II стадии вулканического развития (Мелекесцев, 2006), которая соответствует периоду ослабления вулканической деятельности и характеризуется отрицательным балансом вещества, прекращением роста вулканической постройки, разрушением ее денудационными процессами. Однако особенностью вулканического хребта Вернадского является существование в его недрах длительно-живущей гидротермально-магматической системы, которая обуславливает возможность периодически повторяющихся фреатических извержений (Рычагов и др., 2002). Фреатические и фреатомагматические извержения могут происходить в пределах глубокой (несколько километров) гидротермальной зоны, связанной с плутоническими телами. Геофизическими исследованиями (Бернштейн и др., 1966; Геолого-

геофизический ..., 1987) под вулканом Эбеко магматический очаг не установлен. Над кратерами вулкана выявлена отрицательная аномалия силы тяжести, объясняемая как зона разуплотнения пород, имеющая форму вертикального цилиндра диаметром 1 км, уходящего на глубину до 2-2.5 км (Бернштейн и др., 1966). Но имеются косвенные данные, свидетельствующие в пользу наличия под кратерами, глубже зоны разуплотнения пород, магматического источника тепла, генерирующего гидротермальный флюид (Рычагов и др., 2002). Так, при активизации вулкана резко возрастает поступление с фумарольными газами Cl, CO₂, H₂ и др., геологическим разрезом скважины ГП-3 (глубиной 2.5 км) вскрыта апикальная часть гипабиссального тела габбро-диоритов, над которой формируется область кипения перегретых растворов (Белоусов и др., 2002). Кроме того, в питании системы существенную роль может играть выделение тепла за счет химических реакций, вплоть до получения расплавов (Белоусов и др., 2002). С начала нашей эры вулкан Эбеко характеризуется только эксплозивными фреатическими и условно фреатомагматическими извержениями (Мелекесцев, 2006). Периоды фреатических извержений продолжаются

ИЗВЕРЖЕНИЕ ВУЛКАНА ЭБЕКО

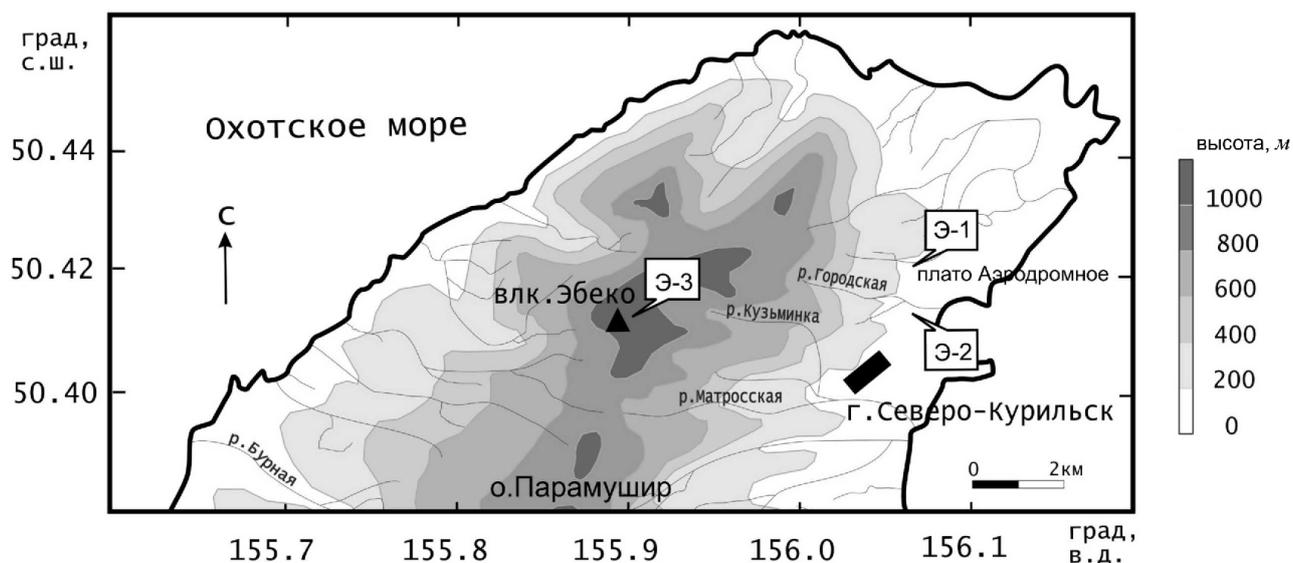


Рис. 1. Схема расположения вулкана Эбеко и точек отбора проб пепла (Э-1, Э-2, Э-3) извержения 2009 г.

2-4 года, периоды межэруптивной деятельности длятся 20-30 лет. 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. (Башарина, Храмова, 1971; Горшков, 1967; Меняйлов и др., 1992; Сидоров, 1965).

Предвестники извержения. Извержению вулкана Эбеко предшествовали изменения в химическом составе фумарольных газов, значительное увеличение их расхода, в том числе за счет образования нового мощного фумарольного поля (Котенко и др., 2007), а также возникновение термального озера в Активной воронке Северного кратера и резкие колебания его уровня. Для в. Эбеко в результате работы многочисленных исследователей (Башарина, Храмова, 1971; Иванов, 1957; Меняйлов, 1976, 1988а; Фазлуллин и др., 1998) установлены геохимические предвестники его фреатических извержений (изменение состава термальных вод и фумарольных газов). В частности, к ним относятся: увеличение в составе фумарольных газов ($\text{SO}_2 + \text{H}_2\text{S}$), затем HCl , N_2 , Ag , O_2 , H_2 на фоне роста температуры парагазовых струй; сначала рост отношений S/Cl , $\text{H}_2\text{S}/\text{SO}_2$, S/C , F/Cl , $\text{H}_2\text{O}/\text{CO}_2$, а затем, за несколько месяцев до начала извержения, их уменьшение. Наличие данных предвестников важно, если учесть, что фреатические извержения зачастую начинаются без сейсмической подготовки. Первые признаки начинающейся активизации вулкана появились в 2003 г.: в составе газов Северо-Восточного фумарольного поля (рис. 2) стали расти содержания SO_2 , Ag , HCl , H_2S , N_2 , O_2 (табл. 1) Наблюдался рост отношений следующих компонентов: S/Cl , $\text{H}_2\text{S}/\text{SO}_2$, S/C , $\text{H}_2\text{O}/\text{CO}_2$ (Котенко и др., 2007). 27 января 2005 г. были зафиксированы первые фреатические взрывы, и вулкан вступил

в стадию усиления фумарольной деятельности. Центром активизации стала Активная воронка Северного кратера, дебит ее фумарол вырос от 216 т/сутки до 1440 т/сутки. В дальнейшем местоположение и мощность основных парагазовых струй, находящихся на северо-восточной и восточной стенке не изменялись, самая мощная струя имела $T = 300-400^\circ\text{C}$, температура остальных струй постоянно была в пределах $288-300^\circ\text{C}$. Также наблюдались многочисленные слабые парагазовые струи на дне, которые впоследствии были скрыты озером, вода вблизи них «кипела» и имела температуру около 95°C на фоне общей температуры воды около 40°C . Летом 2005 г. на внешнем северо-восточном склоне Активной воронки образовалось новое фумарольное поле Июльское площадью 0.020 км^2 (рис. 2). В составе газов фумарол нового поля почти в равных долях содержались CO_2 , SO_2 , HCl . Изменение относительного содержания этих компонентов во времени показано на рис. 3. Наблюдался сначала рост содержания кислых газов, уменьшение содержания HCl , затем уменьшение и того и другого – в результате относительный состав приблизился к составу эруптивных газов предыдущих извержений (Меняйлов и др., 1992). Изотопный состав воды фумарольных струй поля Июльское по данным К. Казахая (личное сообщение), геологическая служба Японии, в сентябре 2007 г. находился в пределах: $\delta\text{D}^\text{‰} = -56.7-59.4$, $\delta\text{O}^{18}\text{‰} = -4.0-4.6$. То есть был близок к местным метеорным водам, хотя и с небольшим сдвигом в сторону утяжеления кислорода. Температура выделяемых газов неуклонно росла (от 110 до 508°C), весной 2006 г. на новом поле произошло самовозгорание серы. Рост прогностических соотношений, рассчитанных для его струй (рис. 4) в феврале 2008 г. сменился

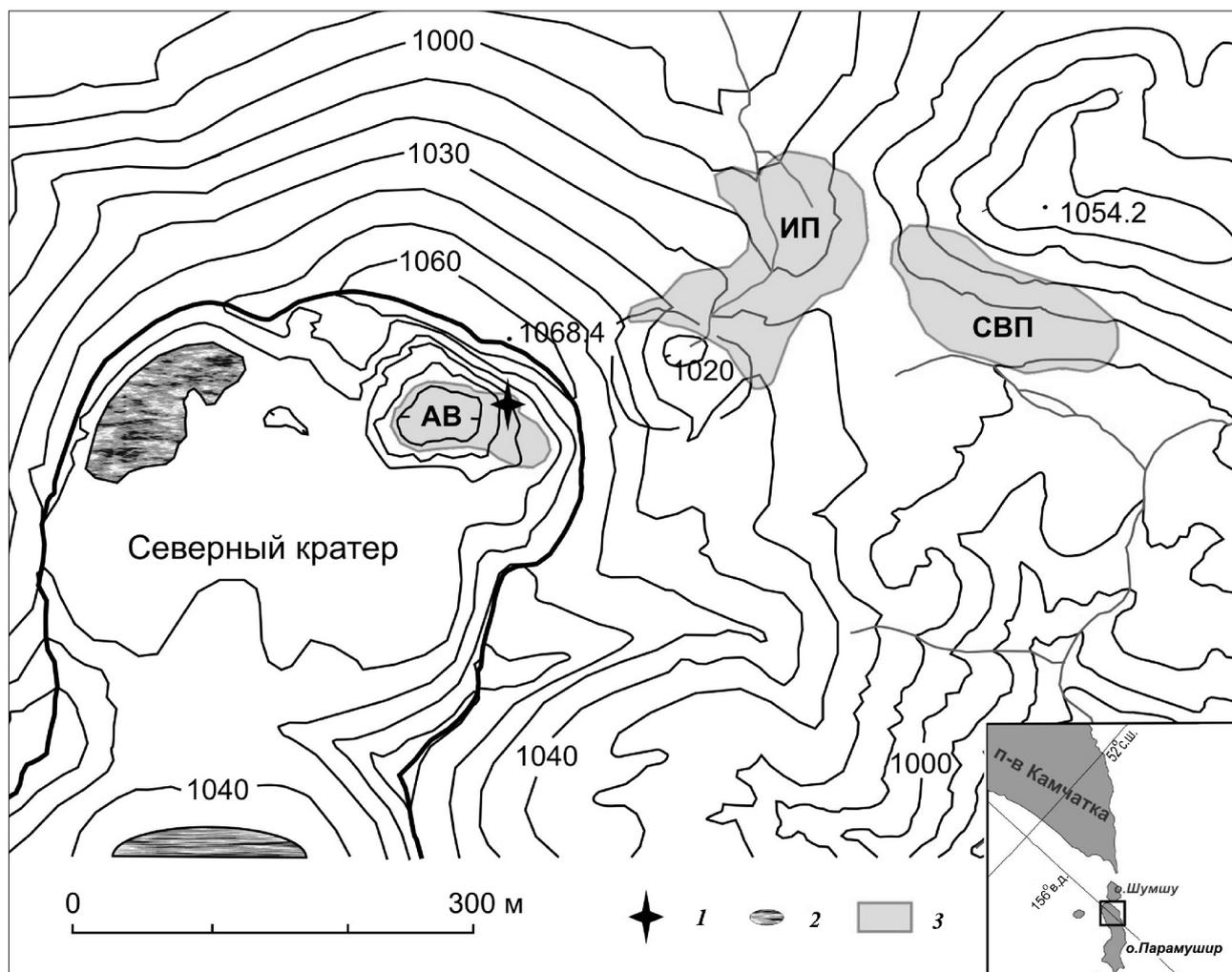


Рис. 2. Северный кратер вулкана Эбеко с прилегающим районом (по В.Н. Двигало (1989) с дополнениями авторов): АВ – Активная воронка, ИП – фумарольное поле Июльское, СВП – Северо-Восточное фумарольное поле, 1 – эруптивное жерло, 2 – кратерные озера, 3 – площади термальных полей.

Таблица 1. Основные компоненты фумарольных газов в.Эбеко (средние за день отбора), мол. %. Анализы выполнены в ИВиС ДВО РАН, аналитики Шапарь В.Н., Тимофеева И.Ф.

Фумарольное поле	Дата отбора	T°C	H ₂ O	CO ₂	H ₂ S	SO ₂	HCl	CH ₄	H ₂	N ₂	O ₂	Ar
Июльское	26.08.2005г.	147	90.45	2.26	0.25	3.31	2.77	4.3 · 10 ⁻⁵	0.002	0.073	0.159	0.009
	11.04.2007г.	132	98.68	0.38	0.02	0.83	0.05	2.5 · 10 ⁻⁶	0.001	0.028	0.009	0.0004
	11.08.2007г.	320	98.92	0.23	0.08	0.57	0.08	1.1 · 10 ⁻⁵	0.014	0.09	0.023	0.0013
	03.09.2007г.	276	93.06	1.52	0.12	1.33	0.34	2.4 · 10 ⁻⁴	0.004	2.878	0.716	0.0334
	11.09.2007г.	255	98.90	0.21	0.03	0.63	0.05	8.3 · 10 ⁻⁶	0.002	0.184	0.036	0.0024
	22.02.2008г.	188	99.16	0.28	0.09	0.26	0.05	1.00 · 10 ⁻⁶	0.002	0.134	0.030	0.0015
	16.09.2008г.	220	98.28	0.91	0.11	0.61	0.03	4.93 · 10 ⁻⁶	0.0003	0.052	0.009	0.0006
25.04.2009г.	100	96.93	1.77	0.13	0.42	0.23	2.09 · 10 ⁻⁶	0.0002	0.401	0.114	0.0055	
Северо-Восточное	19.10.2003г.	110	98.01	1.68	0.01	0.26	0.02	6.64 · 10 ⁻⁶	1.8 · 10 ⁻⁵	0.018	0.004	3.4 · 10 ⁻⁴
	01.07.2004г.	110	98.70	0.83	0.02	0.29	0.01	6.95 · 10 ⁻⁶	1.6 · 10 ⁻⁵	0.035	0.008	4.3 · 10 ⁻⁴
	10.02.2005г.	125	97.76	0.59	0.02	0.30	0.03	2.93 · 10 ⁻⁶	8.0 · 10 ⁻⁶	0.027	0.009	5.2 · 10 ⁻⁴
18.04.2007г.	110	98.81	1.10	0.006	0.0002	0.03	5.27 · 10 ⁻⁶	1.8 · 10 ⁻⁴	0.052	0.015	6 · 10 ⁻⁴	
Активная воронка	22.02.2008г.	105	89.56	4.71	0.14	0.41	0.38	2.5 · 10 ⁻⁴	4.9 · 10 ⁻⁵	0.135	3.691	0.928

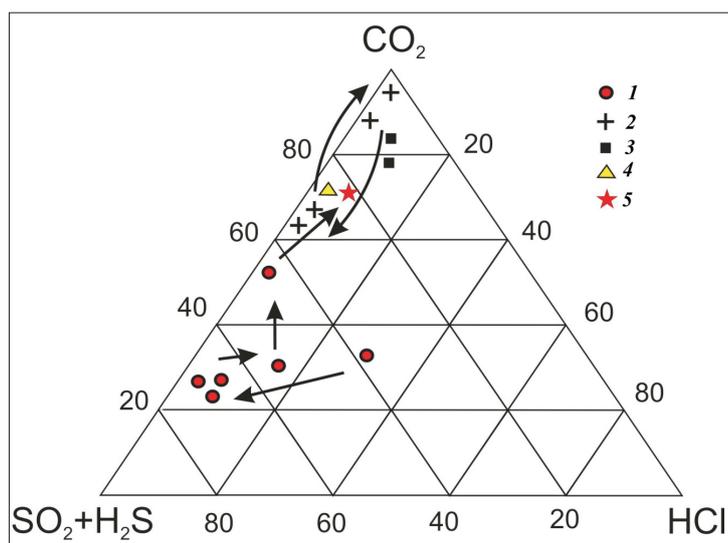


Рис. 3. Диаграмма химического состава фумарольных газов вулкана Эбеко в апреле 2009 г.: 1 – поле Июльское, 2 – Северо-Восточное, 3 – Юго-Восточное, 4 – Активная воронка, 5 – эруптивные (Меняйлов и др., 1992) и поле Июльское в апреле 2009 г. Стрелками обозначено изменение состава газов во времени.

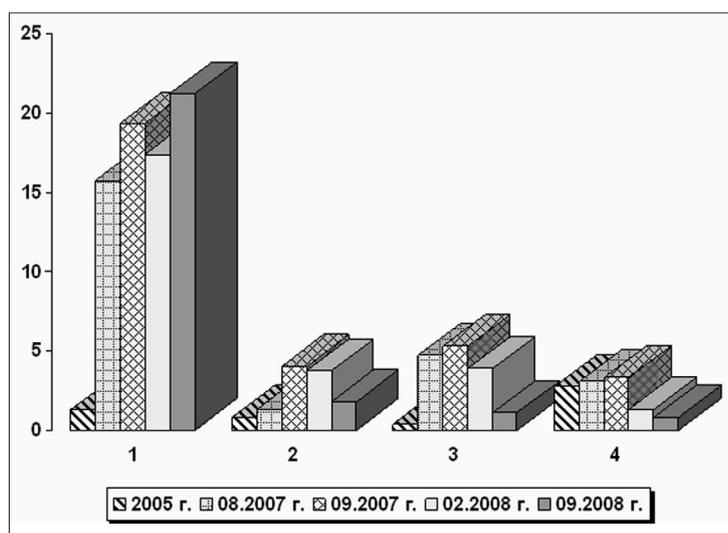


Рис. 4. Гистограмма изменения прогностических отношений газовых компонентов в 2005-2008 гг. (фумарольное поле Июльское): 1 – S/Cl, 2 – H₂S/SO₂, 3 – H₂O/CO₂ × 10⁻², 4 – S/C.

падением. Такие тенденции характерны для вулкана Эбеко при подготовке к фреатическим извержениям (Меняйлов, 1976; Меняйлов и др., 1988б; Фазлуллин и др., 1998).

По результатам обследования кратеров, характерным записям на сейсмограммах сейсмостанции «Северо-Курильск» и сообщениям очевидцев, за период с 27 января 2005 г. до начала извержения было зафиксировано 7 гидротермальных взрывов. Первые три произошли 27-28 января 2005 г. из Активной воронки: на ее внешних склонах были обнаружены отложения толщиной 1-2 мм, пепел первого взрыва отложился на расстояние 500 м к востоку от кратера. Материал взрывов был представлен плагиоклазом, пироксеном, обломками буро-зеленого стекла, гидротермально измененной породы и агрегатов вторичных минералов. Следующий взрыв произошел в верховье ручья Лагерный 25 мая 2005 г. В результате образовалась воронка диаметром около 0.8 м с насыпным конусом вокруг жерла. Температура выходящих из воронки газов составляла 100-120°C. 28 августа и 4 октября

2006 г., а также 18 февраля 2007 г. взрывы были зафиксированы в Активной воронке. Первый из них вызвал частичное обрушение плотных отложений лавовых потоков в северо-западной стенке кратера. Выброшенный при взрыве материал (от мелкозернистого до среднезернистого песка с отдельными угловатыми обломками размером до 0.6 см) был найден на бровке кратера в северо-восточном направлении. Все фракции были представлены обломками гидротермально измененной породы и шлаками. Мощность отложений не превышала 0.5 см, ширина выброса – 40 м. Последствием второго взрыва стало ослабление фумарольной деятельности на дне озера. Третий взрыв, предположительно, сильно понизил уровень термального озера в Активной воронке.

Состояние кратерного озера в Активной воронке. Возникшее в январе 2005 г. в Активной воронке кислое термальное озеро с pH=1.0 просуществовало до июля 2007 г. (рис. 5). Вариации уровня были связаны как с количеством осадков, так и с интенсивностью фумарольной деятель-



Рис. 5. Термальное озеро в Активной воронке 29 июня 2006 г. Вид с юго-востока. Фото Л.В. Котенко.

ности на дне озера (рис. 6). Декадные суммы осадков рассчитывались на основе данных ГМС Северо-Курильск (23 м н. у. м.) с учетом высотного коэффициента, равного для высоты кратера вулкана 3.1 (Калачева, 2008). Температура воды озера находилась в пределах 40–42°C, при наличии снега в кратере ~ 23°C. Глубина изменялась от 6 м до 15 м.

Для расчета максимального объема воды в озере будем считать форму кратера близкой к форме усеченного конуса. Исходя из подобия усеченных конусов (объемы подобных фигур относятся друг к другу как кубы линейных размеров):

$$V/V_1 = (H/H_1)^3,$$

где V – объем полости кратера, V_1 – объем воды озера, H – глубина кратера, H_1 – глубина озера.

После окончания извержения 1987–1991 гг., изменившего морфологию Активной воронки, была проведена плановая аэрофотосъемка, в результате которой было установлено, что объем полости кратера составляет 400–420 тыс. м³, диаметр кратера по бровке равен 140 м, высота южного кратерного уступа – 36 м, северного – 68 м (Мелекесцев и др., 1993). Если принять среднюю глубину кратера равной ± 52 м, а объем полости кратера – неизменным, то получим максимальный объем воды в озере ~ 10 тыс. м³.

В сентябре 2006 г. уменьшилось поступление флюида в воды озера. Это проявилось в изменении цвета воды с бирюзового на зеленый, что обусловлено уменьшением содержания коллоидной серы. 18 февраля 2007 г. гидротермальный взрыв в Активной воронке сильно понизил уровень термального озера: его глубина умень-

шилась с 8 м до 1 м (осмотр кратера 3 марта). Впоследствии начались резкие колебания уровня, не связанные с метеорологическими условиями. В июле 2007 г. после сильных дождей озеро снова наполнилось водой, уровень его поднялся до 15 м, но через 6 дней уровень резко упал до 0.5 м. После 20 июля озеро в прежних размерах больше не восстановилось.

Ход эксплозивного извержения вулкана Эбеко. Извержение вулкана Эбеко началось 29 января 2009 г. В 20 час местного времени было отмечено выпадение пепла в г. Северо-Курильск на расстоянии 6 км от вулкана. Пепел был замечен только на металлических горизонтальных поверхностях (капотях снегоходов и автомобилей). 29 и 30 января вулкан был закрыт облачностью. 31 января при улучшении погоды стал виден парогазовый шлейф с примесью пепла, ориентированный на ВСВ, высотой 250–300 м над кромкой Активной воронки Северного кратера, длиной около 20 км. В течение всего дня шел пеплопад на плато Аэродромное (на расстоянии 7 км от вулкана на ВСВ). Зона пеплопада на о. Парамушир за первые 3 дня извержения составила около 20 км². Из-за поземки пепел отлагался крайне неравномерно, и мощность отложений составила от 0.2 до 5 см.

Первого февраля удалось осмотреть кратерную часть вулкана. Извержение происходило из жерла диаметром около 2 м в восточной стенке Активной воронки Северного кратера, расположенного на 26 м выше уровня дна (рис. 2, рис. 7). Жерло было выработано на месте прежнего выхода мощной фумаролы. Начиная с 1 февраля,

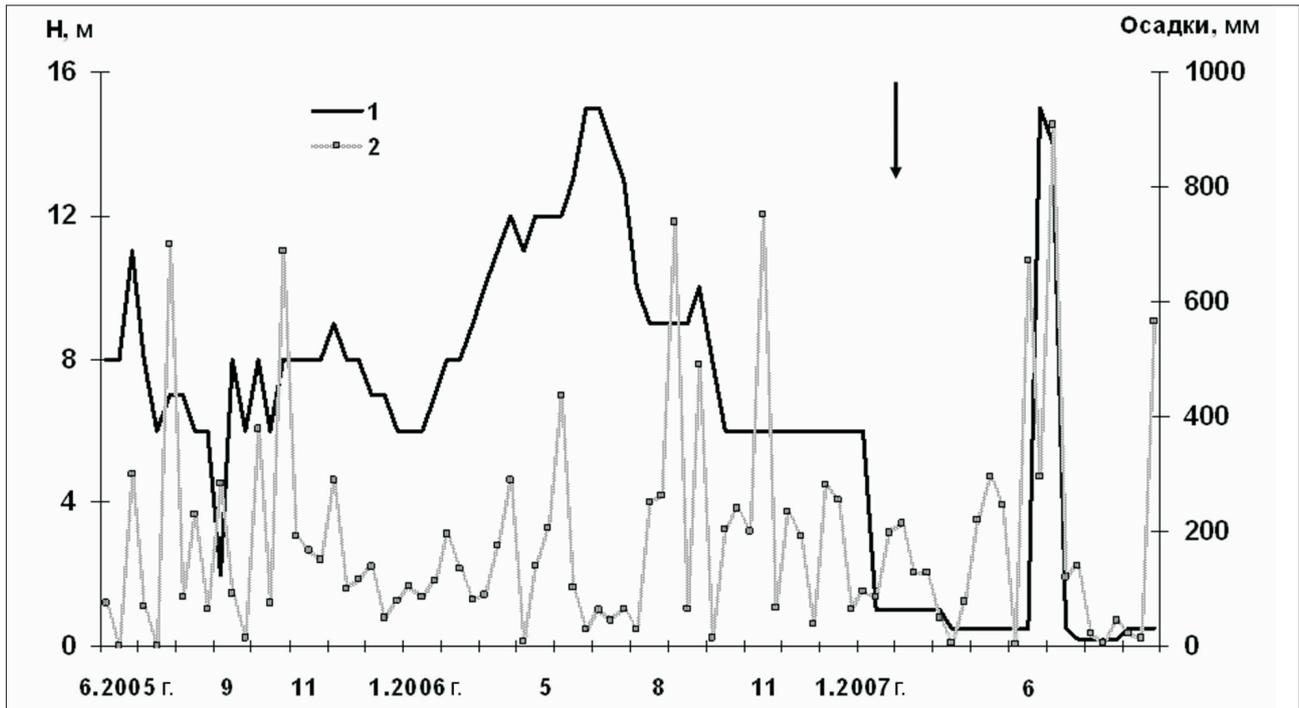


Рис. 6. График изменения глубины озера (1) в Активной воронке и декадных сумм осадков на уровне кратера (2). Стрелкой обозначен взрыв 16.02.2007 г.



Рис. 7. Состояние Активной воронки Северного кратера вулкана Эбеко 18.04.2009 г. Вид с юго-запада. Фото Т.А. Котенко.

характер активности изменился: стало наблюдаться постоянное истечение газо-пепловой смеси с малым содержанием пепла на высоту до 300-1000 м над кратером и периодическое усиление активности, выражающееся в резком увеличении в струе содержания пепла и увеличении ее дебита. Высота выбросов составляла 0.5-3.7 км над кратером. Эксплозии следовали одиночно или сериями, до 8 серий в сутки. Серии состояли

из 2-5 событий, каждое продолжительностью от 1 до 14 минут. Во время наиболее сильных пепловых выбросов низкий гул и дрожание почвы ощущались на расстоянии до 1 км от кратера. По данным сейсмостанции «Северо-Курильск» только самые сильные события сопровождалось слабыми поверхностными землетрясениями, период которых 0.5-1.0 с, а продолжительность — от 4.5 до 10 с. Со второй половины апреля ко-

личество пепло-газовых выбросов составило 8-15 в сутки. Продолжительность одного пеплового выброса составляла от 1-2 до 30 мин. В результате формировались пепловые колонны (при слабом ветре) (рис. 8) или шлейфы длиной от 4 до 10-12 км (рис. 9), максимально до 30 км. Эксплозивный материал за пределами кратера представлен тонкими пеплами. В пределах Северного кратера (на расстоянии до 300 м от жерла) происходил штучный выброс более крупного обломочного материала, сорванного со стенок жерла вырывающейся газо-пепловой струей (отдельные обломки весом до 200 г). Скорость истечения паро-газовых струй из жерла составляла 8-10 м/с, пепло-газовых струй – до 10-12 м/с, при наиболее сильных выбросах максимальная

скорость струй достигала 46 м/с. При этом, чем выше была скорость выброса, тем меньше угол наклона струи к горизонту. Такой угол наклона определялся ориентацией эруптивного жерла, которое представляло собой субгоризонтальную штольню почти прямоугольной формы размером 2.5×3.5 м, уходящую под углом около 15° на ЮЮЗ под осевую линию кратеров (рис. 10). Характериз-вержения и периодичность выбросов сохранялись до начала июня, после чего количество пепловых выбросов сократилось до 2-3 в сутки. Последние пепловые шлейфы были отмечены 18 июня.

Суммарная тепловая мощность термальных полей в 2002 г. составила 29 МВт. В 2005 г. в связи с активизацией фумарольной деятельности тепловая мощность выросла до 260 МВт



Рис. 8. Пепловый столб 7.02.2009 г. Высота столба 3.2 км над кратером. Фото Л.В. Котенко.



Рис. 9. Пепло-газовый шлейф 9.05.2009 г. Фото М.Л. Котенко.

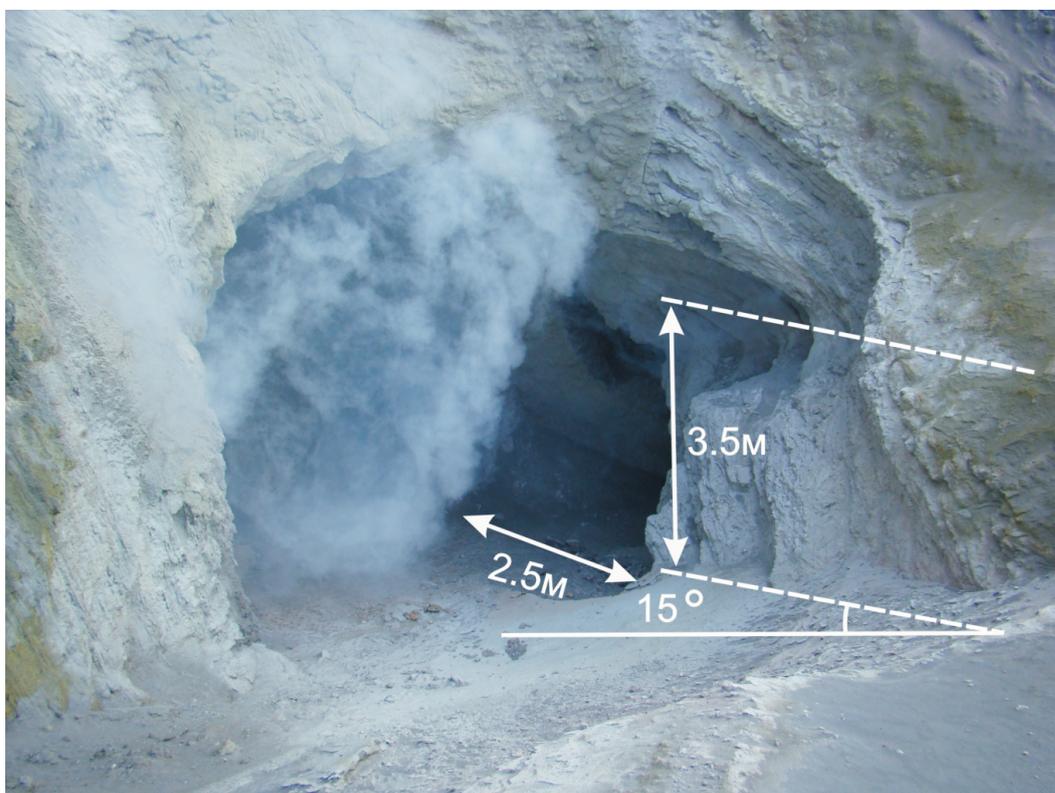


Рис. 10. Эруптивное жерло в Активной воронке Северного кратера. Фото Л.В. Котенко.

(Котенко и др., 2007). Во время извержения 2009 г. фоновый тепловой поток Активной воронки составлял 83 МВт, увеличиваясь во время пеплогазовых выбросов до 330 МВт. Оценка тепловой разгрузки проводилась двумя методами: по высоте парогазовых выбросов (Федотов, 1982) и по термодинамическим характеристикам: расходу пара и газов, рассчитанному по диаметру эруптивного жерла, температуре выходящих газов и скорости потока. Скорость истечения пеплогазовых струй оценивалась по стоп-кадрам видеосъемки из Северного кратера в момент начала пепловых выбросов.

Температура газов эруптивного жерла определялась расчетным методом (Иванов, 1988) и была оценена в 400-500°C. Использовался график расчетных начальных температур парогазовой струи, при которых пар находится на границе видимости (появляется-исчезает) при различных температурах и влажностях окружающего воздуха. Метеорологические параметры измерялись ручной метеостанцией «Atmos», после чего оценивалась нижняя граница температуры струи на выходе из жерла, при которой струя на выходе прозрачна. Применить данный метод удалось в апреле-июне 2009 г., так как в области температур воздуха ниже 0°C и температуре парогазовой струи менее 600°C при любой влажности конденсация водяного пара происходит сразу при выходе из жерла.

Объем и распространение продуктов извержения. Извержение продолжалось более 4.5 месяцев. За это время количество изверженного материала составило ~ 19 тыс. т. Расчет был сделан по неоднократным измерениям количества выпавшей тефры после пеплопадов в шурфах по четырем профилям протяженностью до 8 км на юго-восток, восток, северо-восток и север от вулкана. Для других направлений была сделана интерполяция с учетом розы ветров за время извержения. Замеры количества выпавшего пепла в шурфах позволили также оценить общую нагрузку за весь период извержения на территории города: она составила 0.6 кг/м². Оценка количества пепла по формуле, предложенной для слоев менее 10 мм в снежном покрове (Овсянников, Муравьев, 1992) оказалась сильно завышенной и неприменимой, что объясняется практически постоянным выпадением пепла одновременно со снегом.

Ориентация пепловых шлейфов за время извержения представлена на диаграмме (рис. 6). Преобладающее направление ветра определило основное направление выноса эруптивного материала – восток и северо-восток от вулкана.

Преобладание в составе пеплов мелких частиц способствовало их многократному золотому переотложению, а после окончания

извержения большая часть пепла была вынесена в море при таянии снежного покрова и дождями. В сентябре 2009 г. основные отложения пепла были сконцентрированы: на дне Активной воронки, заполнив ее на глубину около 7 м, на кромке Северного кратера и в верхней части конуса в секторе СЗ-С-СВ-В толщиной 10-12 см, в снегосборах, в руслах рек. Тонкие неравномерные отложения толщиной в среднем 1-2 см сохранились во всех направлениях от кратера на расстоянии не более 3 км.

Общий вынос газов всеми фумарольными полями вулкана Эбеко в межэруптивные периоды достигает 1900 т/сутки (Меняйлов и др., 1988а). В 2005-2008 гг. эта величина выросла в 5 раз и стала составлять почти 9600 т/сутки (Котенко, 2008). Вынос вулканических газов активным кратером во время извержения 2009 года в среднем составлял 4600 т/сутки. По составу газов фумарол Июльского фумарольного поля (табл. 1), наиболее близкого к эруптивным газам извержений 1967 и 1987-1991 гг. (Меняйлов и др., 1992), и высоте подъема парогазовых облаков по формуле Федотова (1982) был рассчитан вынос летучих активным кратером. Из эруптивного жерла выбрасывалось в среднем (т/сут): Н₂О – 4430, СО₂ – 128, SO₂ – 43, НСl – 14, Н₂S – 8.

Мощность фумарольной деятельности других термальных полей во время извержения оставалась неизменной.

Вещественный состав тефры. Краткая характеристика вещественного состава тефры извержений 1989, 1987, 1793 гг., а также 4-х более древних, не датированных извержений, дана в работах (Мелекесцев и др., 1993, Меняйлов и др., 1992). По данным этих авторов, тефра прошлых извержений имела андезитовый состав и была представлена в основном резургентным материалом, ювенильные породы присутствовали в незначительном количестве или вообще отсутствовали.

Для сравнения вещественного состава свежес выпавшей тефры с тефрой предыдущих извержений было изучено три пробы. Две из них отобраны в 6-7 км к северо-востоку от вулкана: в районе плато Аэродромного (Э-1) и в нижнем течении р. Городской (Э-2). Крупнообъемная проба Э-3 взята с восточной стороны Северного кратера вулкана, примерно на 7 м ниже его кромки (рис. 1, 11). В двух первых случаях отбирался свежес выпавший пепел вместе со слоем снега мощностью около 6 см с площади 2 м². Вес сухого остатка проб составил 110 и 100 г соответственно. Третья проба отобрана из слоя тефры мощностью около 6 см, залегающего на тонком слое снега, который покрывал пирокластику старых извержений. Вес сухой пробы составил 3.4 кг. В сухом виде тефра во всех пробах имеет серый цвет.

Гранулометрический состав тефры определялся стандартным ситовым методом. Результаты этого анализа отражены в табл. 2. Из таблицы следует, что почти 80% тефры имеет размер частиц менее 0.25 мм, то есть, она представлена в основном вулканическим пеплом. Согласно классификации вулканогенно-обломочных пород (Малеев и др., 1981) по крупности материала

выпавший пепел состоит из песка, алевролита и пелита.

Диаграмма распределения частиц по фракциям показывает, что для всех проб характерна общая тенденция к уменьшению размерности частиц по экспоненте (рис. 12). В связи с эоловой гравитационной дифференциацией материала закономерно, что наиболее крупные частицы отложились у кромки кратера.

Характеристика минерального состава пепла дана на основе изучения пробы Э-3. Тефра отмучивалась, рассеивалась на фракции и просматривалась под бинокляром. Фракции с размером зерен от 0.5 до 2.0 мм представлены изометричными обломками пород серого цвета из постройки вулкана, в резко подчиненном количестве присутствуют обломки измененных пород белого и рыжего цвета, а также единичные кристаллы плагиоклаза.

Фракции с размером зерен от 0.125 до 0.5 мм представлены изометричными обломками вулканического стекла серовато-белого и серого цвета с микровключениями рудного минерала черного цвета (основная масса пород, иногда с относительно крупными включениями кристаллов пироксенов и плагиоклазов). В подчиненном количестве присутствуют обломки бурого и зеленого пироксенов, магнетита, единичные обломки полупрозрачного плагиоклаза.

Во фракциях с размером зерен менее 0.125 мм увеличивается количество полупрозрачных обломков плагиоклаза, пепел приобретает более светлый оттенок. В подчиненном количестве

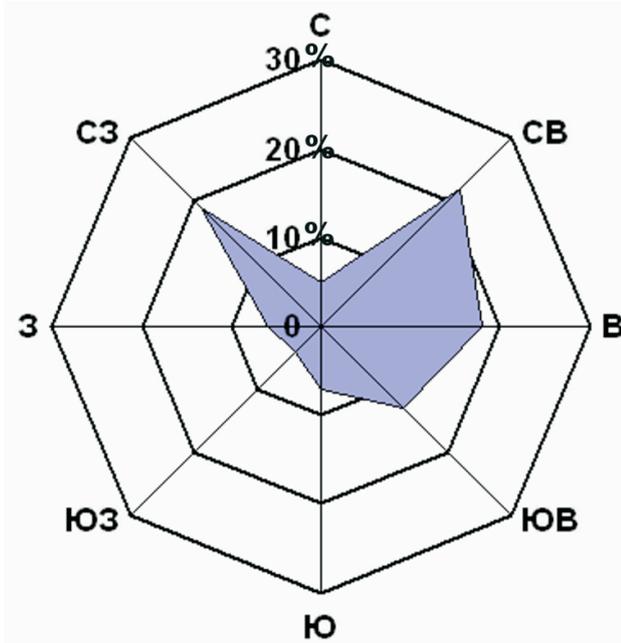


Рис. 11. Ориентация пепловых шлейфов за весь период извержения вулкана (повторяемость в % от общего числа случаев).

Таблица 2. Гранулометрический состав тефры вулкана Эбеко (январь-март 2009 года), %.

Номер 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	31.01.2009 г.	87.26	10.58	1.92	0.25			
Э - 2	11.02.2009 г.	89.74	7.75	2.22	0.28			
Э - 3	18.03.2009 г.	43.33	32.42	14.13	8.31	1.32	0.16	0.34

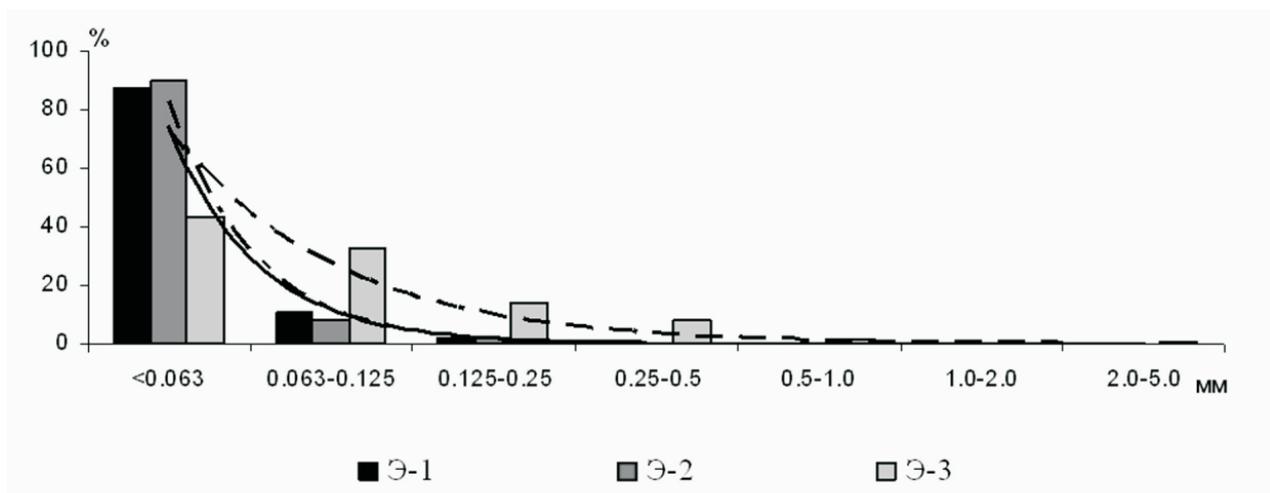


Рис. 12. Гистограмма распределения тефры извержения 2009 г. по фракциям.

присутствуют обломки пироксенов и магнетита, количество которого по сравнению с более крупными фракциями возрастает. Также встречаются единичные зерна зеленой роговой обманки, кварца, эпидота; корочки мелкозернистого пирита; вспененные стекла белого, бурого, редко черного цвета; рогульки желтого полупрозрачного стекла; вишнево-красный рыхлый гематит; корочки лимонита; иногда корочки зеленого или голубого цвета, представленные, вероятно, вторичными минералами меди. Обломки минералов имеют преимущественно изометричную форму.

По химическому и минеральному составу свежесвыпавшая тефра относится к дациандезитам, наиболее кислая разность – кдацитам (табл. 3). Чем дальше от вулкана, тем более кислый состав имеет пепел.

По сравнению с предыдущими извержениями вулкана (Мелекесцев и др., 1993; Меняйлов и др., 1992) в вещественном составе тефры извержения 2009 г. существенных изменений не выявлено. Свежесвыпавшая тефра также имеет андезитовый состав и представлена резургентным материалом. По химическому составу она ближе всего к наиболее кислым разностям извержения 1989 г. (Мелекесцев и др., 1993).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В период с 29 января по 18 июня 2009 г. после 18 лет покоя произошло очередное извержение вулкана Эбеко. Извержение было фреатическим – весь выброшенный материал представлен тонкими резургентными пеплами, слабым – объем вынесенных пеплов составил

~ 20 тыс. м³. В ходе извержения не наблюдалось резких изменений его мощности, кроме некоторого спада в последние две недели.

Извержению предшествовали: изменения химического состава газов и прогностических соотношений газовых компонентов, рост температуры фумарольных газов и увеличение их расхода, а также изменения в поверхностных проявлениях гидротермальной деятельности вулкана (гидротермальные взрывы, образование нового высокотемпературного фумарольного поля, появление озера в Активной воронке и затем его исчезновение). В настоящий момент вулкан Эбеко продолжает находиться в стадии высокой фумарольной активности.

Авторы признательны С.Н. Рычагову за всестороннюю помощь, В.А. Дроздину и А.Ю. Озерову за ценные замечания, О.А. Гириной за техническую помощь при подготовке статьи. Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 09-05-00022а).

Список литературы

- Башарина Л.А., Храмова Г.Г.* Состояние вулкана Эбеко в 1966-1967 гг. // Бюл. вулканол. станций. 1971. № 47. С. 44-51.
- 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.
- Бернштейн В.А., Сивожелезов С.С., Федорченко В.И. и др.* Геофизические наблюдения на

Таблица 3. Химический состав тефры вулкана Эбеко (январь-март 2009 года), вес. %

%	Э-1/2009	Э-2/2009	Э-3/2009
SiO ₂	68.60	64.80	63.40
TiO ₂	0.66	0.63	0.69
Al ₂ O ₃	15.00	15.80	14.90
FeO _{общ.}	6.75	6.93	7.23
MnO	0.08	0.10	0.14
CaO	3.51	5.27	5.68
MgO	1.13	1.53	2.04
Na ₂ O	1.87	2.58	2.53
K ₂ O	1.66	1.88	2.02
P ₂ O ₅	0.14	0.13	0.17
ппп	0.30	0.20	0.62
Сумма	99.70	99.85	99.42
S %	0.50	0.35	0.42
F %	0.03	0.03	0.03

Примечание. Анализы выполнены в аналитическом центре Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН с помощью рентгенофлуоресцентного спектрометра «S4 PIONEER». Аналитики: А.О. Садовникова, Н.И. Чеброва, В.М. Рагулина.

- некоторых вулканах хребта Вернадского // Тр. СахКНИИ. 1966. Вып. 16. С. 175-189.
- Геолого-геофизический атлас Курило-Камчатской островной системы. Л.: ВСЕГЕИ, 1987. 36 л.
- Горшков Г.С. Вулканизм Курильской островной дуги. М.: Наука, 1967. 288 с.
- Иванов В.В. Современная гидротермальная деятельность вулкана Эбеко на о. Парамушир // Геохимия. 1957. № 1. С. 63-76.
- Иванов В.В. Об облаках парагазовых извержений и фумарол // Вулканология и сейсмология. 1988. № 4. С. 37-50.
- Калачева Е.Г. Применение метода водного баланса для изучения условий питания подземных вод северной части острова Парамушир, Курильские острова // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2008. № 2 (Вып. 12). С. 87-94.
- 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. 1-11.
- Малеев Е.Ф., Петрова М.А., Фролов В.Т. и др. Классификация и номенклатура вулканогенных обломочных пород // Классификация и номенклатура магматических горных пород, М: Недра, 1981. 160 с.
- Мелекесцев И.В. Действующие и потенциально активные вулканы Курило-Камчатской вулканической дуги в начале XXI в.: этапы исследований, определение термина «действующий вулкан», будущие извержения и вулканическая опасность // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2006. № 1 (Вып. 7). С. 15-35.
- 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. Зависимость состава вулканических газов от состояния вулканической активности и геохимический прогноз извержений // Бюл. вулканол. станций. 1976. № 52. С. 42-48.
- Меняйлов И.А., Никитина Л.П., Будников В.А. Активность вулкана Эбеко в 1987-1991 гг.; 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. 1988а. № 4. С. 21-36.
- Меняйлов И.А., Овсянников А.А., Широков В.А. Извержение вулкана Эбеко в октябре-декабре 1987 г. // Вулканология и сейсмология. 1988б. № 3. С. 105-108.
- Овсянников А.А., Муравьев Я.Д. Извержение вулкана Чикурачки в 1986 г. // Вулканология и сейсмология. 1992. № 5-6. С. 3-20.
- Рычагов С.Н., Белоусов В.И., Главатских С.Ф. и др. Северо-Парамуширская гидротермально-магматическая система: характеристика глубокого геологического разреза и модель современного минералорудообразования в ее недрах // Вулканология и сейсмология. 2002. № 4. С. 3-21.
- Сидоров С.С. Активизация вулкана Эбеко в 1963-64 гг. // Бюл. вулканол. станций. 1965. № 40. С. 44-51.
- Фазлуллин С.М., Тимофеева И.Ф., Котенко Л.В. и др. Опыт слежения за состоянием вулкана Эбеко (Курильские острова) // Материалы Российско-японского полевого семинара «Минерало-рудообразование в вулканогидротермальных системах островных дуг: от модели к эксплуатации». Петропавловск-Камчатский: ИВ ДВО РАН, 1998. С. 252-255.
- Федотов С.А. Оценки выноса тепла и пирокластики вулканическими извержениями и фумаролами по высоте их струй и облаков // Вулканология и сейсмология. 1982. № 4. С. 3-28.

КОТЕНКО и др.

**ERUPTION OF EBeko VOLCANO FROM JANUARY THROUGH
JUNE 2009 (PARAMUSHIR ISLAND, THE KURILES)**

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

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

The article provides data on explosive eruption from January 29 to June 18, 2009 produced by Ebeko Volcano, Paramushir Island. The eruption was produced from Aktivnaya funnel in Northern crater. The volcano was continuously sending gas-ash cloud to an altitude of 300 to 1000 m above the crater interrupted by sporadic increase in amount of ash inside the jet and increase in its yield. The volcano produced 3 to 15 events per day sending the columns to an altitude of 500 m to 3.7 km. Ebeko produced phreatic event erupting resurgent ash. Total volume of the erupted materials comprised about 19 thousand of tons. The event was preceded by alteration in chemical composition of fumarole gas and considerable increase in its yield caused by a new fumarole field.

Keywords: volcano, Eeko, eruption, explosion, resurgent, phreatic, fumarole, ash.