

УДК 551.214

## МНОГОЛЕТНИЙ ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ВУЛКАНА МУТНОВСКИЙ (КАМЧАТКА) И ФРЕАТИЧЕСКОЕ ИЗВЕРЖЕНИЕ ВУЛКАНА В АПРЕЛЕ 2007 г.

© 2007 Г. М. Гавриленко<sup>1</sup>, Д. В. Мельников<sup>1</sup>, М. Е. Зеленский<sup>2</sup>, Л. Тавиньо<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Институт вулканологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, 683006;  
e-mail: geo\_gavrilenko@mail.ru, dvm@kscnet.ru

<sup>2</sup>Институт экспериментальной минералогии РАН, Москва; e-mail: zelen@iem.ac.ru

<sup>3</sup>laurent.kam@mail.ru

На вулкане Мутновский в течение 15 лет проводится гидрогеохимический мониторинг речки Вулканная, дренирующей его активные кратеры. Цель этих исследований - апробация среднесрочного гидрогеохимического метода прогноза извержений и фаз усиления активности вулкана. Этот метод оказался эффективным при прогнозе активных фаз вулкана в марте 2000, мае 2003 и в апреле 2007 гг.

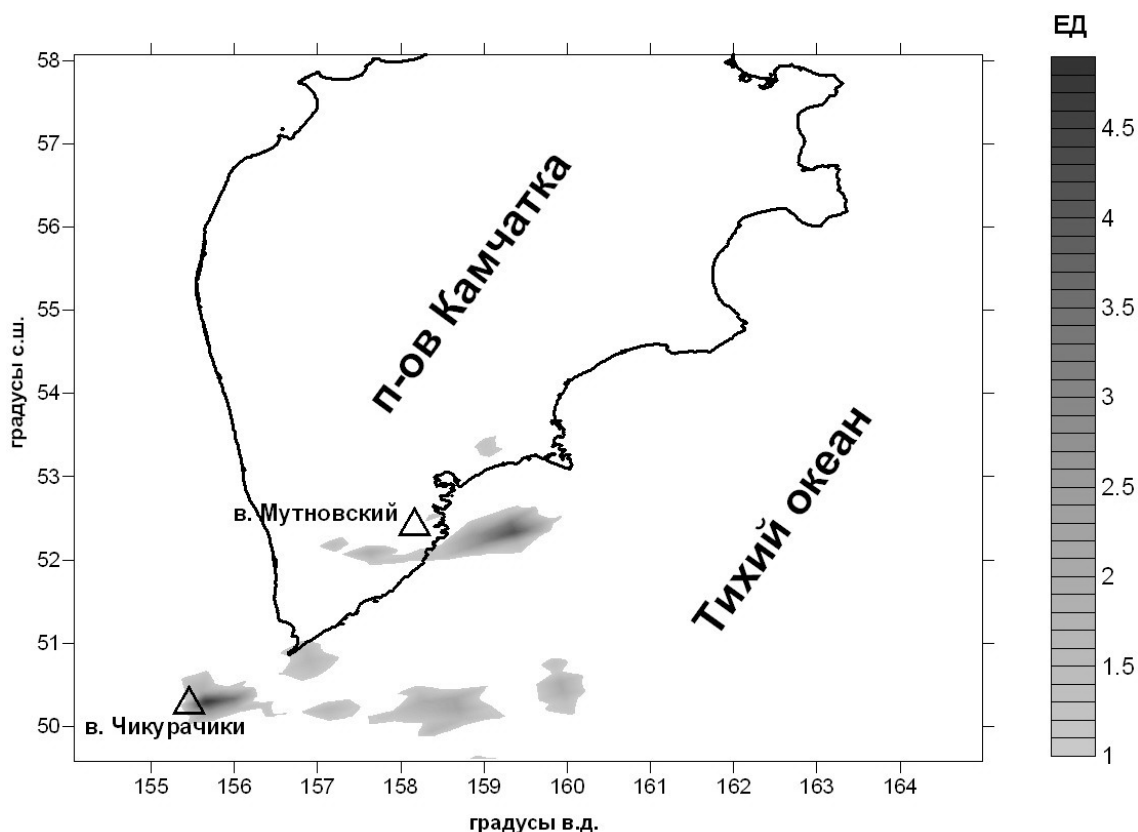
В контексте исследований, связанных с выбором и апробацией методов геохимического прогноза извержений вулканов Камчатки и Курильских островов, вот уже 15 лет проводится гидрогеохимический мониторинг активности в. Мутновский (рис. 1), являющимся одним из самых больших и наиболее активных вулканов Южной Камчатки (Мелекесцев и др., 1987; Поляк, 1966; Селянгин, 1993). Для этого вулкана предложен и апробируется, начиная с 1992 г. и по настоящее время, метод среднесрочного гидрогеохимического прогноза усиления его активности (Гавриленко, 2000, 2004, 2006; Гавриленко, Гавриленко М., 2006; Гавриленко, Гавриленко П., 2003, 2004; Гавриленко и др., 2001; Gavrilenko, Bortnikova, 2007; Gavrilenko, Gavrilenko M., 2001; Gavrilenko, Gavrilenko P., 2004).

Вулканологам хорошо известно, что гидротермальная деятельность присуща для всех обводненных активных вулканов, в недрах которых в межпароксизмальные фазы деятельности формируются и функционируют вулканогидротермальные системы. Глубинные флюиды, выделяющиеся из магмы в процессе дифференциации в спокойные периоды деятельности вулканов, поступают из их недр на дневную поверхность, главным образом, в парогазовой фазе и в растворенном виде с термальными водами. Именно последние являются объектом гидрогеохимических исследований на активных вулканах. А поскольку состав и количество

выделяющихся магматогенных флюидов и соотношения в них тех или иных компонентов зависят от происходящих на глубине процессов, то, соответственно, состав и свойства той их части, которая поступает на поверхность в растворенном виде с термами, может отражать состояние исследуемых вулканов.

Одним из характерных типов такого рода вулканов является в. Мутновский, находящийся в стадии фумарольно-гидротермальной деятельности (Серафимова, 1966; Таран и др., 1991). В его активных кратерах, помимо большого количества фумарол, имеется также множество разрозненных и разноразмерных, постоянно мигрирующих внутри них термальных источников, которые вбираются водами р. Вулканная, дренирующей эти кратера. То есть речка аккумулирует практически всю минеральную нагрузку гидротерм вулкана. Следовательно, контролируя вариации состава речных вод, можно судить об изменениях общего (интегрального) состава всех термальных источников вулкана и, соответственно, отслеживать степень его активности. Иначе говоря, систематический гидрогеохимический мониторинг вод р. Вулканная может использоваться в качестве геохимического метода прогноза изменений активности Мутновского вулкана.

На практике этот метод представляет собой режимное, ежегодное (в паводковый сезон) гидрогеохимическое опробование вод р. Вул-



**Рис. 1.** Спутниковый снимок NASA от 17.04.2007 г., демонстрирующий аномально высокие содержания сернистого газа (SO<sub>2</sub>) на высоте 5 км над вулканами Мутновский и Чикурачки. ЕД - Единицы Добсона, используемые для измерения в атмосфере концентрации SO<sub>2</sub> (1 ЕД равна 0.01 мм толщины сжатого слоя озона при 0°С или 2.69×10<sup>20</sup> молекул озона на 1 м<sup>2</sup>. Типичное фоновое значение SO<sub>2</sub> в атмосфере ≤ 1 ЕД).

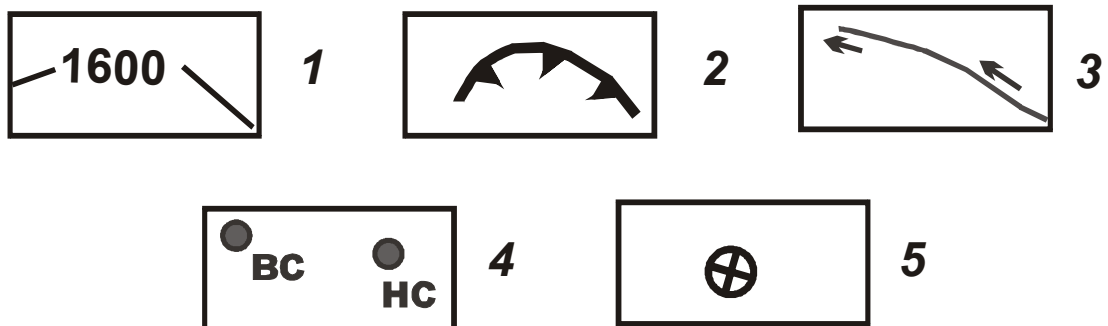
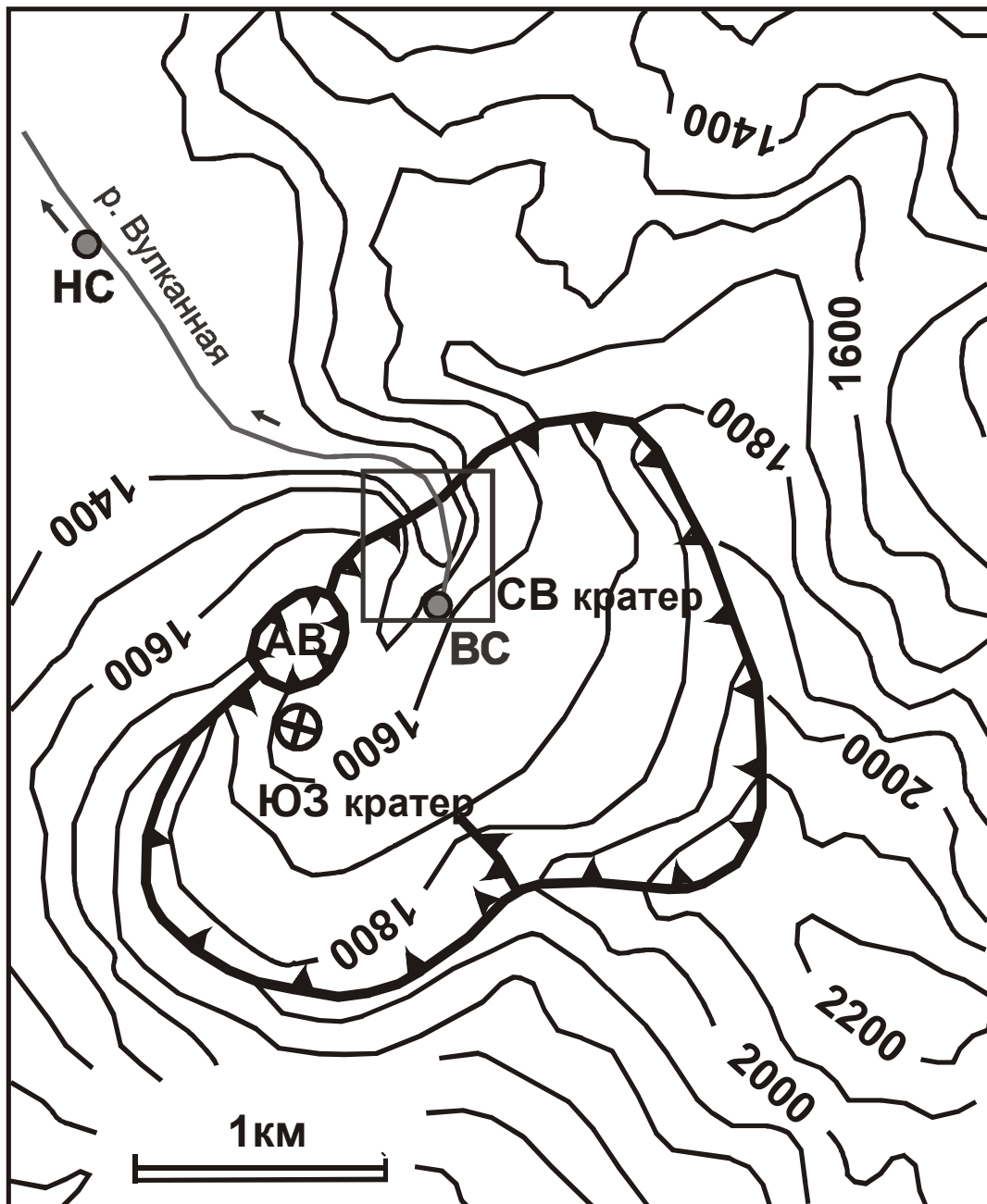
канная на двух створах: верхнем (ВС), расположенном в южной части Северо-Восточного (СВ) кратера вулкана и нижнем створе (НС), находящемся в 3 км ниже по течению реки на западном склоне вулкана (рис. 2). В полученных пробах воды по стандартным гидрохимическим методикам определяются все растворенные макрокомпоненты, в частности, главные анионы: SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Cl<sup>-</sup>, и F<sup>-</sup>.

Из полученных за прошедшие 15 лет гидрогеохимических данных и построенных на их основе графиков (рис. 3) видно, что отношения сульфат-иона к галоидным ионам в период 1992-1997 гг. менялись в сравнительно небольших пределах.

После 1997 г. эти параметры стали увеличиваться, достигнув своих максимальных значений: на ВС для SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>/F<sup>-</sup> в 1998 г. и для SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>/Cl<sup>-</sup> в 1999 г. Как видно на графиках, эти максимумы были зафиксированы с разницей в один год, при «шаге» режимных наблюдений, также составлявшем один год. Похожая, но обратная картина была зафиксирована для соответствующих отношений на НС реки: для SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>/F<sup>-</sup> в 1999 г., а для SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>/Cl<sup>-</sup> в 1998 г.

Через шесть месяцев после установления отмеченных максимумов отношений на ВС в 1999 г. для SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>/F<sup>-</sup> на НС и SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>/Cl<sup>-</sup> в марте 2000 г. в Юго-Западном (ЮЗ) кратере вулкана произошло фреатическое извержение. После этого извержения в воронке взрыва, где много лет существовал ледник, образовалось кислое термальное озеро с высокой минерализацией вод (около 17 г/л), низкими значениями рН=1.3 и температурой порядка 40-50°С (Гавриленко, 2000, 2004, 2006; Гавриленко, Гавриленко М., 2006; Гавриленко, Гавриленко П., 2003, 2004; Гавриленко и др., 2001; Зеленский и др., 2002; Gavrilenko, Bortnikova, 2007; Gavrilenko, Gavrilenko M., 2001; Gavrilenko, Gavrilenko P., 2004).

После извержения отношения главных анионов в водах р. Вулканная стали быстро снижаться, а в конце 2001 и в 2002 гг. стали снова расти (рис. 3). Через пол года последовало повторное усиление активности в ЮЗ кратере вулкана. Еще в первых числах мая 2003 г. вновь образованное озеро в этом кратере было покрыто льдом и снегом, а уже через несколько дней лед и снег на нем растаяли и вода прогрелась до 35°С, приняв характерный для кислых вулканических



**Рис. 2.** Карта-схема вулкана Мутновский: 1- горизонтали; 2- кромки кратеров; 3- речка Вулканная; 4 - верхний и нижний створы (BC и HC), где ежегодно проводится гидрогеохимическое опробование вод р. Вулканная; 5 - местоположение кратерного озера в северной части Ю3 кратера вулкана.

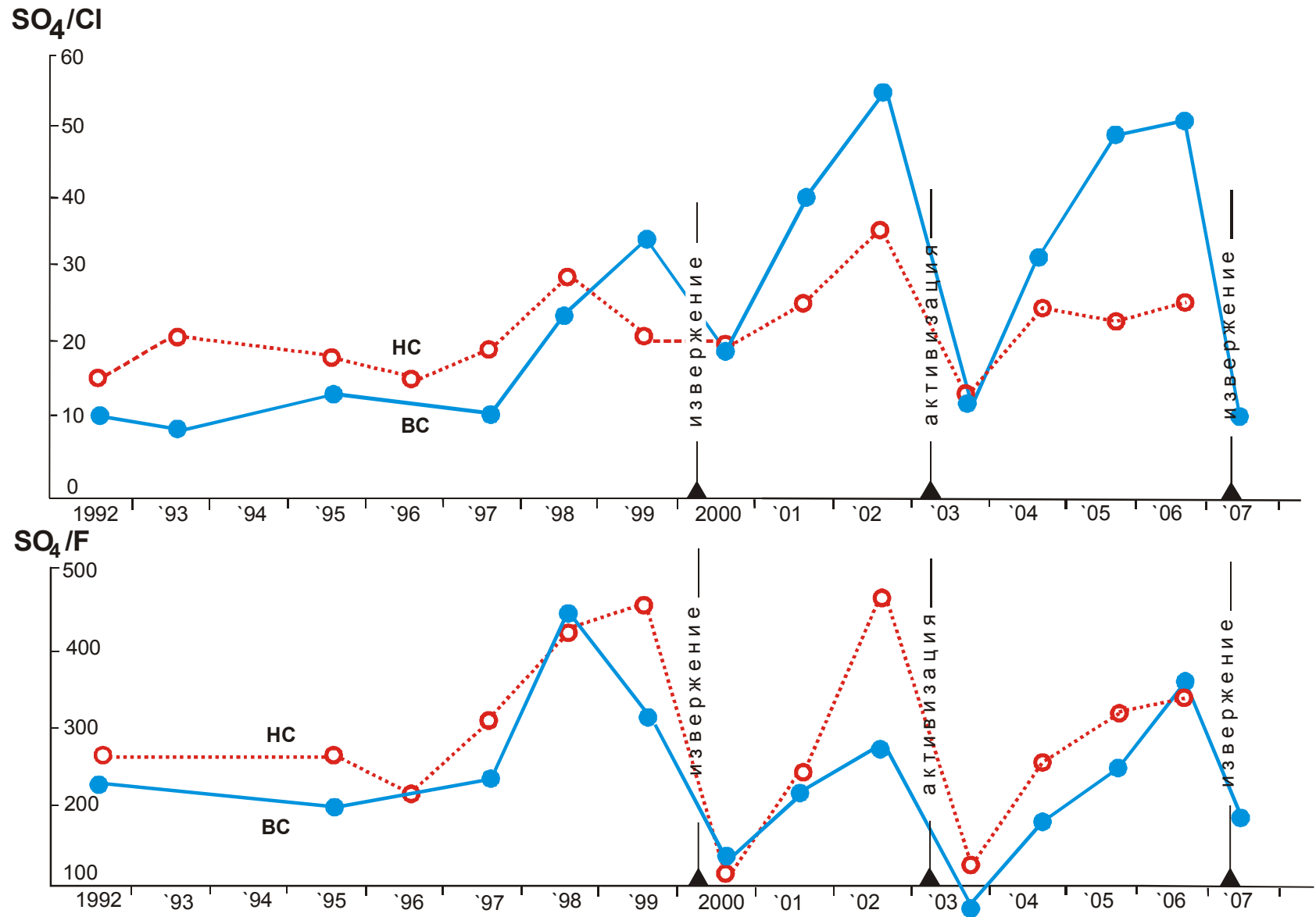


Рис. 3. Графики вариаций гидрохимических параметров за период 1992-2007 гг. с временной отметкой произошедших на вулкане в последние годы событий. BC – данные для верхнего створа; HC – данные для нижнего створа.

озер бирюзовый цвет. При этом наблюдалась весьма активная конвекция кратерноозерных вод, по все вероятности за счет усилившейся на дне озера (кратера) фумарольно-гидротермальной деятельности. Очевидно, мощный конвективный поток тепла из недр вулканической постройки стал причиной быстрого таяния льда на озере и значительного прогрева его вод. То есть повторное повышение гидрохимических параметров вод р. Вулканная летом-осенью 2001 и 2002 гг. было не случайным, как это уже было в конце 1998-1999 гг. перед извержением вулкана в марте 2000 г. и в 2001-2002 гг. накануне (перед) активизации в ЮЗ кратере в мае 2003 г.

После 2003 г. на вулкане вновь наступило «затишье». Рассматриваемые гидрогеохимические параметры снизились до фоновых значений уже во второй половине этого года. Однако, в следующем 2004 г., они снова стали повышаться, сохранив эту тенденцию и в 2005-2006 гг. (рис. 3). То есть наметившийся в последние три года тренд напомнил нам ситуацию перед активизациями вулкана в начале 2000-х гг. Поэтому нами не исключалась в ближайшие пол года возможность новой, очередной фазы усиления активности вулкана. Это предположение было высказано в материале, отосланном в начале 2007 г. и принятом к опубликованию в Материалы 12-го Международного Симпозиума «Water-Rock Interaction (WRI-12)», проведение которого планируется в Китае в августе 2007 г.<sup>1</sup>

В апреле (6, 10, 11, 15 и 17) 2007 года радиотелеметрической сетью Камчатского филиала Геофизической службы РАН в районе Мутновского вулкана регистрировался высокий уровень непрерывного спазматического вулканического дрожания. Его значения превышали фон в несколько раз.

16.04.2007 г. по данным спутника NOAA-17 к юго-востоку от в. Мутновский было зафиксировано пепловое облако размером 22x34 км, которое в дальнейшем стало смещаться в сторону Тихого океана. Также, по данным спутникового мониторинга 10-17 апреля спутником AURA с помощью прибора OMI в атмосфере над вулканом была зарегистрирована мощная эмиссия сернистого газа (SO<sub>2</sub>), наблюдавшаяся несколько дней. Абсолютное содержание SO<sub>2</sub> в фисированном спутником «облаке» составляло: 10 апреля -74; 11 апреля-103; 12 апреля-201; 13 апреля-212; 14 апреля-111 и 15 апреля-116 тонн с максимальными значениями 16 и 17 апреля 2007 г. 611 и 488 тонн, соответственно (данные сотрудника NASA Симона Карна (Simon Carn)). Эти значения являются одномоментно зафиксиро-

ванными на момент пролёта спутника над Мутновским вулканом и показывают общую массу SO<sub>2</sub> в районе вулкана. Кроме этого на этих снимках наблюдается эмиссия SO<sub>2</sub> от вулкана Чикучаики (о. Парамушир, Курильские о-ва), которые исключались при расчёте эмиссии на Мутновском вулкане (рис. 1).

Все изложенные данные косвенно свидетельствовали о том, что на в. Мутновский вероятно произошло извержение.

Для проверки этого предположения в двадцатых числах мая 2007 г. на вулкане были проведены полевые работы отрядом «Мутновский» Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН. В результате этих исследований было установлено, что извержение действительно произошло в самом активном кратере вулкана - Активной Воронке (АВ) и по характеру было фреатическим.

Образовавшийся взрывной кратер врезан в южную стенку АВ и имеет диаметр 150 м и глубину более 30 м (рис. 4 на 2 странице обложки). Дно и стенки самой Активной Воронки оказались покрыты обломками пород материнской постройки вулкана. А на внешних склонах Мутновского вулкана был обнаружен свежий пепел серого цвета. Предварительное макро- и микроскопическое изучение его показало, что это мелкий резургентный пепел, с преобладающей фракцией частиц <0.1 мм. Большая часть пепловых частиц представлена раздробленными неизменными пироксеновыми андезитами с небольшой примесью пемзы. Обломки измененных пород не превышают в нем 10% общей его массы (описание пеплов выполнено М.Ю. Пузанковым).

В ЮЗ и СВ активных кратерах в. Мутновский каких-либо изменений в деятельности и морфологии по сравнению с предыдущим годом выявлено не было.

Важно отметить, что вулканические события на в. Мутновский в начале XXI в., произошли после 40 лет спокойного периода его межэруптивной, фумарольно-гидротермальной деятельности, характеризовавшейся аномально высоким выносом тепла (1800-1900 МВт), что квалифицировалось некоторыми исследователями как «пассивное извержение» (Мелекесцев и др., 1987; Поляк, 1966). По мнению Г.М. Гавриленко, временное совпадение произошедших за последние годы событий на вулкане с началом эксплуатации Мутновского геотермального месторождения (пуск Верхне-Мутновской ГеоЭС-1999 г. и Мутновской ГеоЭС-2002 г. (Кирюхин и др., 2006)) скорее всего не случайно и поэтому требует особого внимания как со стороны вулканологов, так и со стороны сотрудников Мутновской ГеоЭС.

<sup>1</sup> Gavrilenko G.M., Bortnikova S.B. Hydrogeochemical monitoring at the active craters of Mutnovsky Volcano, Kamchatka, before and after the 2000 eruption.

Авторы благодарны за помощь в обработке и обсуждении приведенного в статье материала М.Ю. Пузанкову, Н.П. Егоровой и А.А. Каргапольцеву.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, грант № 06-05-96002 и Дальневосточного отделения РАН, грант № 06-III-B-08-368.

Список литературы

- Гавриленко Г.М.* Вулкан Мутновский проснулся // Природа. 2000. № 12. С. 41-43.
- Гавриленко Г.М.* Активные вулканы современных островных дуг: гидролого-гидрохимический аспект исследований // 2004. Вулканология и сейсмология. № 6. С. 49-64.
- Гавриленко Г.М.* Гидрогеохимический мониторинг вулкана Мутновский (Камчатка): выбор и апробация геохимического метода прогноза его извержений // Вулканизм и геодинамика. Материалы 3-го Всероссийского симпозиума по вулканологии и палеовулканологии. Улан-Удэ: Из-во Бурятского научного центра СО РАН, 2006. Т. 3. С. 663-666.
- Гавриленко Г.М., Гавриленко М.Г.* Изменение отношений макрокомпонентов в термальных водах вулкана Мутновский, предшествующие его активным фазам (Камчатка) // Подземная гидросфера: Материалы Всероссийского совещания по подземным водам востока России. Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2006. С. 17-20.
- Гавриленко Г.М., Гавриленко П.Г.* Временные кратерные озера вулкана Мутновский (Камчатка): причины их образования и исчезновения // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. № 2. 2003. С. 118-121.
- Гавриленко Г.М., Гавриленко П.Г.* Гидрохимические предвестники извержения вулкана Мутновский (Камчатка) в марте 2000 г. // Вестник МГУ. Сер.: Геология. 2004. № 4. С. 25-34.
- Гавриленко Г.М., Зеленский М.Е., Муравьев Я.Д.* Подвижка ледника в северо-восточном активном кратере вулкана Мутновский. Причины и последствия этого явления // Вулканология и сейсмология. 2001. № 2. С. 18-23.
- Зеленский М.Е., Овсянников А.А., Гавриленко Г.М., Сеников С.Л.* Извержение вулкана Мутновский (Камчатка) в марте 2000 г. // Вулканология и сейсмология. 2002. № 6. С. 25-28.
- Кирюхин А.В., Москалев Л.К., Поляков А.Ю., Чернев И.И.* Изменения термогидродинамического и газогидрохимического режима резервуара в процессе эксплуатации Мутновского геотермального месторождения // Подземная гидросфера: Материалы Всероссийского совещания по подземным водам востока России. Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2006. С. 267-270.
- Мелекесцев И.В., Брайцева О.А., Пономарева В.В.* Динамика активности вулканов Мутновский и Горелый в голоцене и вулканическая опасность для прилегающих районов (по данным тефрохронологических исследований) // Вулканология и сейсмология. 1987. № 3. С. 3-18.
- Поляк Б.Г.* Геотермические особенности области современного вулканизма (на примере Камчатки) // М.: Наука, 1966. 179 с.
- Селянгин О.Б.* Новое о вулкане Мутновский: строение, развитие, прогноз // Вулканология и сейсмология. 1993. № 1. С. 17-35.
- Серафимова Е.К.* Особенности химического состава фумарольных газов Мутновского вулкана // Бюл. вулканологич. Станций. 1966. № 42. С. 56-65.
- Таран Ю.А., Вакин Е.А., Пилипенко В.П., Рожков А.М.* Геохимические исследования в кратере вулкана Мутновский // Вулканология и сейсмология. 1991. № 5. С. 37-55.
- Gavrilenko G.M., Gavrilenko M.G.* Geochemical precursors of the 2000 eruption of Mutnovsky Volcano, Kamchatka // Proceedings of the 10<sup>th</sup> Intern. Symp. on Water-Rock Interaction, 10-15 June 2001. Italy. 2001. P. 99-102.
- Gavrilenko G.M., Gavrilenko P.G.* Geochemical precursors of the activation of Mutnovsky Volcano at 2002-2003, Kamchatka // IAVCEI. General Assembly 2004. Pucon. Chile. P. 128.

**HYDROCHEMICAL MONITORING OF MUTNOVSKY VOLCANO (KAMCHATKA) AND PHREATIC ERUPTION IN APRIL 2007**

**G. M. Gavrilenko<sup>1</sup>, D. V. Melnikov<sup>1</sup>, M. E. Zelensky<sup>2</sup>, L. Tavignot**

<sup>1</sup>*Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky, 683006, Russia*

<sup>2</sup>*Institute of Experimental Mineralogy RAS, Moscow, 142432, Russia*

The Vulkannaya River drains the active craters of Mutnovsky volcano and for 15 years we have been carrying out the hydrogeochemical monitoring of the Vulkannaya River, i.e. carrying out the annual water sampling. The aim of the observations is to select and test the most effective hydrogeochemical method for medium-term forecasts of the Mutnovsky volcano eruptions and reactivations. This method proved to be effective for the forecast of the volcano's active phases in March 2000, May 2003 and April 2007.