

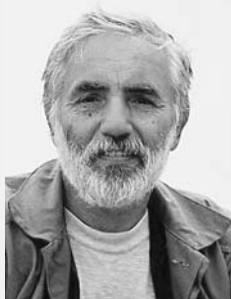
# Пятнадцать лет из жизни вулкана Мутновского

Г.М.Гавриленко, Д.В.Мельников

Один из наиболее крупных вулканов Камчатки — Мутновский — более 40 лет находился в фазе спокойной фумарольно-гидротермальной деятельности. Однако 17 марта 2000 г. произошло извержение сразу в двух из трех его действующих кратеров: в так называемой Активной Воронке и в непосредственно примыкающем к ней Юго-Западном кратере, точнее в воронке, расположенной в его северной части, где за много лет копился мощный слой снега и льда. После извержения там образовалось кислое термальное озеро с высокой минерализацией вод (около 17 г/л), низкими значениями  $\text{pH} = 1.3$  и температурой  $40\text{--}50^\circ\text{C}$  [1]. Впоследствии оно стало остывать и к зиме 2002—2003 гг. замерзло. В начале мая 2003 г. взрывная воронка опять активизировалась: за три-четыре дня мощная толща льда и снега в ней растаяли, а талые воды прогрелись до  $35^\circ\text{C}$  [2, 3]. А через три года, в апреле 2007 г., произошло еще одно извержение вулкана [4]. Всем этим событиям предшествовали очень похожие, постоянно наблюдаемые нами изменения гидрогеохимических характеристик термальных вод, которые в большом количестве имеются в пределах постройки Мутновского вулкана.

Для выбора и апробации методов геохимического прогно-

© Гавриленко Г.М., Мельников Д.В., 2008



**Георгий Михайлович Гавриленко**, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Института вулканологии и сейсмологии РАН. Область научных интересов — гидрогеохимические исследования активных вулканов, морская вулканология, современное вулканогенно-осадочное рудообразование.



**Дмитрий Владимирович Мельников**, старший научный сотрудник того же института. Круг научных интересов охватывает вулканическую геоморфологию, структурную геологию, дистанционные методы исследований, геоинформационные системы.

за извержений вулканов Камчатки и Курильских о-вов вот уже более 15 лет проводится гидрогеохимический мониторинг вулкана Мутновского — одного из самых активных вулканов Южной Камчатки [5—7].

Вулканологам хорошо известно, что гидротермальная деятельность присуща всем обводненным активным вулканам, в недрах которых в межпароксизмальные фазы формируются и функционируют вулcano-гидротермальные системы. Глубинные флюиды, выделяющиеся из магмы при ее дегазации в спокойные периоды, поступают на поверхность в основном в виде пара-газа или растворенные с термальными водами. Именно термальные воды и являются главным объектом наших гидрогеохимических исследований. Состав и количество выделяющихся магматогенных флюидов и соотношение в них тех или иных компонентов зависят от происходящих на глубине процессов, а соответственно состав и свойства той их части, которая поступает на поверхность в растворенном виде с термами, отражает состояние самих вулканов.

На Мутновском, помимо большого количества фумарольных (парово-газовых) выходов, зафиксировано множество разрозненных и разноразмерных, постоянно мигрирующих термальных источников, разгружающихся в речку Вулканную, дренирующую активные его кратеры. Река аккумулирует практически весь растворенный и нерастворенный минеральный материал термальных вод вулкана. Контролируя вариации состава речных вод, можно судить об изменениях общего (интегрального) состава всех термальных источников вулкана и следить за степенью его активности. Иначе говоря, систематический гидрогеохимический мониторинг воды р. Вулканной может использоваться при прогнозе изменений активности вулкана Мутновского. К сожалению, нами пока апробирован лишь среднесрочный (несколько месяцев — два-три года) прогноз.

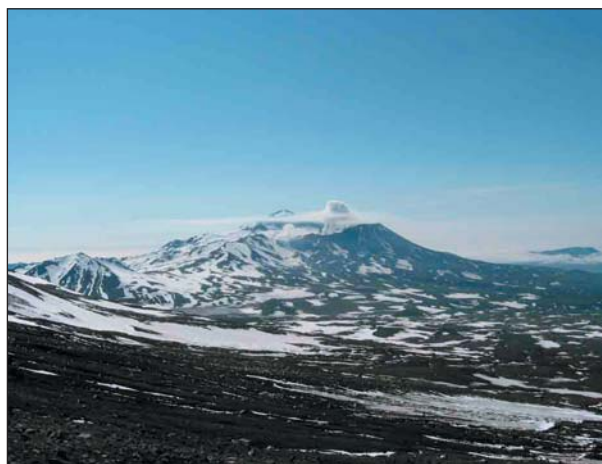
На практике этот метод представляет собой режимное, ежегодное (как правило в паводковый сезон) гидрогеохимическое опробование речных вод на двух створах: верхнем, расположенном в южной части Северо-Восточного (СВ) кратера, и нижнем, находящемся в 3 км ниже по течению реки, на западном склоне вулкана. В полученных пробах по стандартным гидрохимическим методикам определялись все растворенные макрокомпоненты, в частности такие анионы, как  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$  и  $\text{F}^-$ .

Из собранных за 16 лет гидрогеохимических данных и построенных на их основе графиках видно, что отношения сульфат-иона к галоидным ионам в период 1992—1997 гг. колебались в сравнительно небольших пределах.

После 1997 г. их значения стали увеличиваться, достигнув максимума: на верхнем створе для  $\text{SO}_4^{2-}/\text{F}^-$  в 1998 г. и для  $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$  в 1999 г. Эти максимумы были зафиксированы с разницей в один год при «шаге» режимных наблюдений, также составлявшем один год. Похожая, но обратная картина наблюдалась для соответствующих отношений и на нижнем створе реки: для  $\text{SO}_4^{2-}/\text{F}^-$  в 1999 г. и для  $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$  в 1998 г.

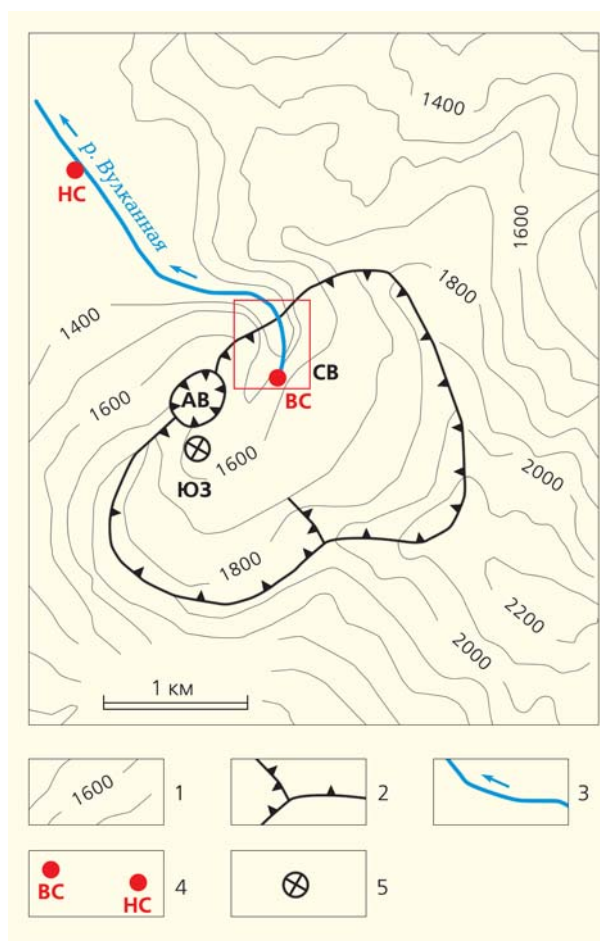
Через шесть месяцев после отмеченных максимумов на вулкане произошло извержение, после которого отношения главных анионов в водах р. Вулканной быстро снизились. В конце 2001 и в 2002 г. они стали снова расти. А через полгода последовало повторное усиление активности в Юго-Западном кратере вулкана. Еще в первых числах мая 2003 г. озеро в нем было покрыто льдом и снегом. Спустя несколько дней лед и снег растаяли, а вода прогрелась до  $35^\circ\text{C}$ , приняв характерный для кислых вулканических озер бирюзовый цвет. При этом на поверхности наблюдалась активная конвекция кратерноозерных вод (по всей вероятности, за счет усилившейся на дне озера фумарольно-гидротермальной деятельности).

После активной фазы на вулкане вновь наступило затишье, и все рассматриваемые гидрогео-



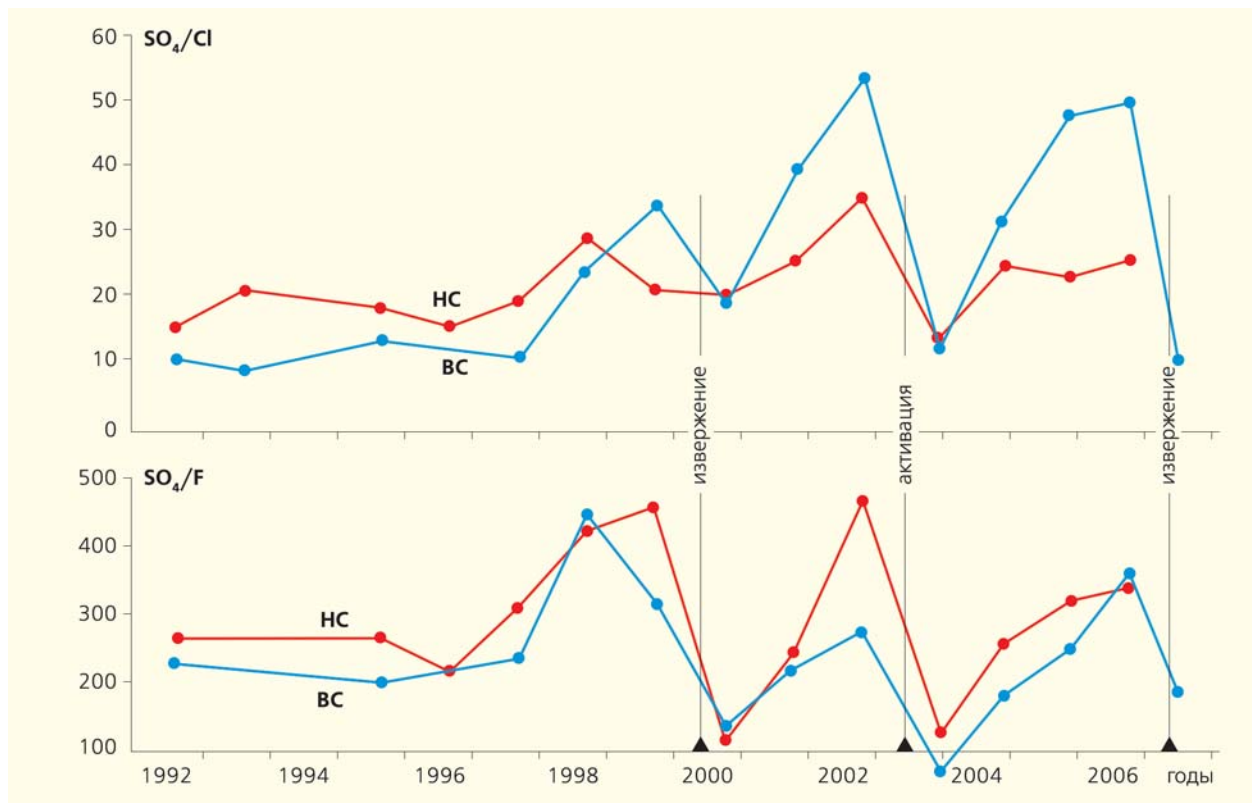
Вулкан Мутновский (вид с северо-запада).  
12 июля 2007 г.

Фото Г.М.Гавриленко

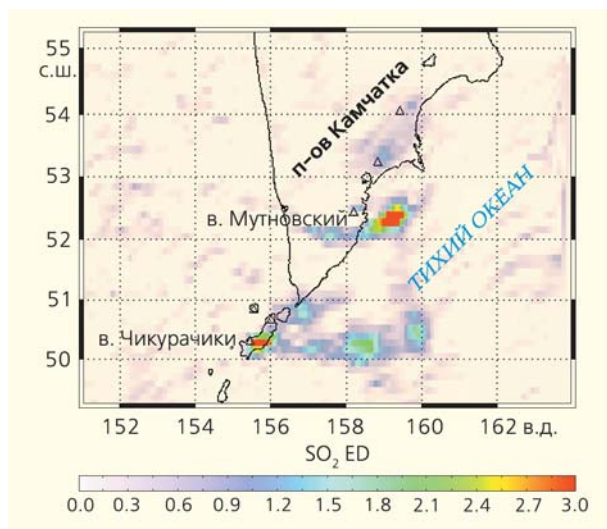


Карта-схема вулкана Мутновский:

- 1 — горизонтали;
- 2 — кромки кратеров;
- 3 — речка Вулканная;
- 4 — верхний (ВС) и нижний (НС) створы;
- 5 — кратерное озеро в Юго-Западном кратере.



Вариации гидрогеохимических параметров за период 1992—2007 гг. с временными отметками произошедших на вулкане в последние годы событий. ВС — данные для верхнего створа; HC — для нижнего створа (см. рис.2).



Интерпретация спутникового снимка (17 апреля 2007 г.), демонстрирующая anomalно высокие содержания сернистого газа ( $SO_2$ ) в атмосфере на высоте 5 км над вулканами Мутновский (Камчатка) и Чикурачки (Северные Курилы). ЕД — единицы Добсона, используемые для измерения в атмосфере концентрации  $SO_2$  (1 ЕД равна 0.01 мм толщины сжатого слоя озона при 0°C или  $2.69 \cdot 10^{20}$  молекул озона на 1 м<sup>2</sup>. Типичное фоновое значение  $SO_2$  в атмосфере J1 ЕД).

химические параметры во второй половине 2003 г. снизились до минимальных значений. Однако на этом вулкан не успокоился. В 2004 г. гидрохимические параметры стали увеличиваться, сохраняя эту тенденцию в 2005 и 2006 гг. Наметившийся в последние три года тренд напомнил нам ситуации перед двумя предыдущими активизациями вулкана в начале 2000-х годов. Поэтому мы не исключали возможность очередного усиления активности вулкана в ближайшие месяцы [8].

В апреле 2007 г. радиотелеметрической сетью Камчатского филиала Геофизической службы РАН в районе Мутновского стал регистрироваться высокий уровень непрерывного спазматического вулканического дрожания. Его значения превышали фон в несколько раз. 16 апреля спутник NOAA-17 зафиксировал к юго-востоку от вулкана пепловое облако размером 22×34 км, которое в дальнейшем стало смещаться в сторону Тихого океана. Кроме того, 10—17 апреля спутник AURA I в атмосфере над Мутновском зарегистрировал мощную эмиссию сернистого газа ( $SO_2$ ), наблюдавшуюся несколько дней. По данным сотрудника NASA Симона Карна (Simon Carn), абсолютное содержание  $SO_2$  в «облаке» составляло: 10 апреля — 74, 11-го — 103, 12-го — 201, 13-го — 212, 14-го — 111 и 15-го — 116 т с максимальными значениями

16 и 17 апреля — 611 и 488 т соответственно. Эти значения одновременно зафиксированы во время пролета спутника над вулканом и показывают общую массу  $SO_2$  в данном районе. Кроме того, на снимках наблюдалась эмиссия  $SO_2$  от вулкана Чикурачики (о.Парамушир, Курильские о-ва), которая исключалась при расчете эмиссии газа на Мутновском. Все изложенные данные косвенно свидетельствовали о том, что на вулкане Мутновском, возможно, произошло извержение.

Для проверки этого предположения в двадцатых числах мая 2007 г. на вулкане были проведены полевые работы сотрудниками Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН. В результате исследований было установлено, что в самом активном кратере вулкана — Активной Воронке — действительно произошло извержение, причем взрыв в апреле 2007 г., в отличие от фреатического извержения в марте 2000 г., был преимущественно «сухим» за счет выброса в атмосферу скопившегося над близповерхностными магматическими массами сернистого газа.

Образовавшийся взрывной кратер размерами 180×215 м и глубиной около 30 м оказался врезаным в юго-западную стенку Воронки. На дне и стенках самой Активной Воронки лежали обломки пород материнской постройки вулкана, а на внешних склонах Мутновского был обнаружен свежий пепел серого цвета. Предварительное макро- и микроскопическое его изучение показало, что это мелкий резургентный материал с преобладающей фракцией частиц <0.1 мм, которые главным образом представлены раздробленными пироксеновыми андезитами с небольшой приме-



Воронка взрыва в кратере Активная Воронка. 22 июля 2007 г.

Фото Д.М.Мельникова

сь пемзы. Обломки измененных пород не превышали 10% от общей массы пепла (описание выполнено М.Ю.Пузанковым).

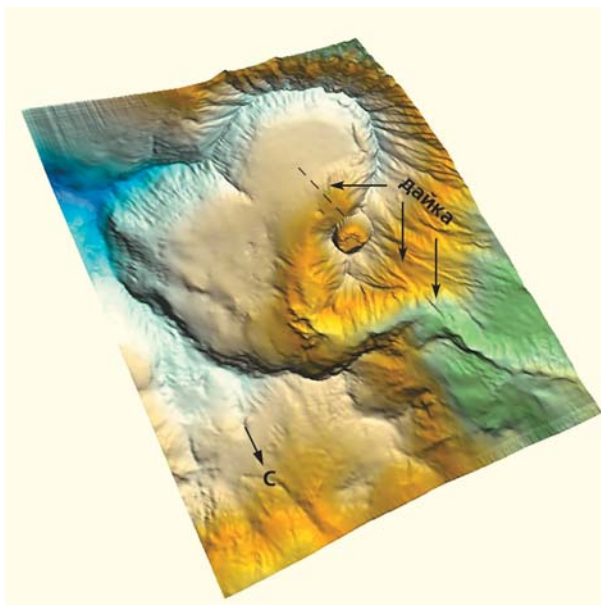
В Юго-Западном и Северо-Восточном кратерах вулкана Мутновского каких-либо изменений в морфологии выявлено не было.

Вулканические события на Мутновском произошли после 40 лет спокойного периода фумарольно-гидротермальной деятельности, которая, однако, характеризовалась аномально высоким



Аэрофотоснимок Мутновского вулкана (16 августа 2003 г.). Красным обведен контур взрывной воронки апрельского извержения в Активной Воронке 2007 г. Стрелки показывают положение дайки [9, 10], отчетливо «читающейся» в рельефе вулканической постройки: на северо-западе по трещине в многолетнем леднике, на юго-востоке — на склоне вулкана.

Фото Н.И.Селиверстова



Цифровая модель рельефа постройки вулкана Мутновский. Стрелками показано [13] положение дайки (построение выполнено Д.В.Мельниковым).

выносом тепла, главным образом конвективного, с магматическими флюидами (1800–1900 МВт), что практически адекватно непрерывному извержению. Поэтому некоторые исследователи [6] этот относительно спокойный период в жизни вулкана квалифицируют как «пассивное извержение».

Такая длительная и мощная массэнергетическая разгрузка на вулкане может поддерживаться кристаллизацией и конвекцией кипящего расплава в магматическом очаге под вулканом за счет периодического пополнения его более глубокой магмой. А усиление активности Мутновского в последние годы, по мнению О.Б.Селянгина, вероятно инициировано внедрением дайки по раскрывающейся (обновляемой) трещине ССЗ–ЮЮВ простирания [9].

Произошедшие на вулкане события совпали по времени с другими событиями, зафиксированными на нем: сходом многолетнего пульсирующего

ледника на дно Северо-Восточного кратера вулкана — в конце 1996–1998 гг. [10]; обрушением крупного ледника и сходом мощного селя по р. Куропатке с северо-восточного внешнего склона в 1996 г.; началом эксплуатации Мутновского геотермального месторождения — пуском Верхне-Мутновской ГеоЭС в 1999 г. и Мутновской ГеоЭС в 2002 г. [11, 12].

Эти события не были главными причинами, определяющими возобновление вулканической деятельности Мутновского, но они могли послужить своеобразными «катализаторами», спровоцировавшими реализацию на поверхности глубинных процессов.

В конце статьи следует отметить, что сейсмостанцией в районе Мутновского с апреля 2007 г. и до настоящего времени постоянно регистрируется непрерывное повышенное вулканическое дрожание — редкое явление в последние десятилетия. ■

**Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 06-05-96002) и Дальневосточного отделения РАН (проект 06-III-B-08-368).**

## Литература

1. Гавриленко Г.М. Вулкан Мутновский проснулся // Природа. 2000. №12. С.41–43.
2. Гавриленко Г.М. // Вулканология и сейсмология. 2004. №6. С.49–64.
3. Гавриленко Г.М., Гавриленко М.Г. Изменение отношений макрокомпонентов в термальных водах вулкана Мутновский, предшествующее его активным фазам (Камчатка) // Подземная гидросфера: Материалы Всероссийского совещания по подземным водам востока России. Иркутск, 2006. С.17–20.
4. Гавриленко Г.М., Мельников Д.В., Зеленский М.Е., Тавиньо Л. // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2003. №2. С.118–121.
5. Мелекесцев И.В., Брайцева О.А., Пономарева В.В. // Вулканология и сейсмология. 1987. №3. С.3–18.
6. Поляк Б.Г. Геотермические особенности области современного вулканизма (на примере Камчатки). М., 1966.
7. Селянгин О.Б. // Вулканология и сейсмология. 1993. №1. С.17–35.
8. Gavrilenko G.M., Bortnikova S.B. 2000–2006 hydrochemical monitoring data obtained from the active crater of Mutnovsky Volcano, Kamchatka, after the 2000 eruption // Proceedings of the 12th Intern. Symp. on Water-Rock Interaction, 13–18 August. China. 2007. P.105–109.
9. Селянгин О.Б. Структура, вещество и эволюция магмопроводящих систем вулканов Мутновский и Горелый // Магматические очаги и надочаговые зоны вулканов. Петропавловск-Камчатский, 2007.
10. Гавриленко Г.М., Зеленский М.Е., Муравьев Я.Д. // Вулканология и сейсмология. 2001. №2. С.18–23.
11. 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, 2006. С.267–270.
12. Кугаенко Ю.А., Мельников Д.В. // География и природные ресурсы. 2006. №3. С.30–37.
13. Мельников Д.В. Визуализации структурно-геоморфологического строения вулканических построек (на примере Мутновского вулкана, Камчатка) // Вулканизм, сейсмичность и окружающая среда. Петропавловск-Камчатский, 2002. С.16–20.