

Диффузионный поток CO₂ на озере Кипящем в кальдере Головнина (о. Кунашир)

Тарасов К.В.

CO₂ flux from Kipyashee Lake in the Golovnina caldera (Kunashir Island)

Tarasov K. V.

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский;

e-mail: belfast@kscnet.ru

В работе приведены результаты съемки потока CO₂ с водной поверхности и прибрежной зоны озера Кипящего в кальдере вулкана Головнина на острове Кунашир.

Введение

Углекислый газ – самое распространенное вулканогенное газообразное соединение после водяного пара. Вулканические газы в горячих озерах выделяются через испарение и бурление. Кроме того, CO₂ выходит на поверхность посредством диффузии. Кратерные озера могут быть значительным источником CO₂, сравнимым с дегазацией активных вулканов [7, 8].

Первое измерение диффузионной дегазации с поверхности озера методом плавучей накопительной камеры было выполнено Клингом и др. [4] для изучения биогенного CO₂ в арктическом озере. Первые подобные измерения на кратерных озерах были выполнены на вулкане Санта-Ана в Сальвадоре [1], Келуд в Индонезии [2] и Эль-Чичон в Мексике [6]. Измерение потока CO₂ на озере Кипящем произведено впервые.

Чтобы полностью оценить количество CO₂, поступающего в атмосферу в областях активного вулканизма, необходимо учитывать не только объем газа, выделяемого фумаролами из кратеров активных вулканов, но и диффузионный поток со всей площади вулканических и гидротермальных систем.

Целью работы было измерить диффузионный поток CO₂ на озере Кипящем и рассчитать объем поступающего в атмосферу углекислого газа. Для сравнения данных измерения также выполнены на объекте, не связанном с вулканизмом.

Методика

Замеры грунтового потока CO₂ производились методом накопительной камеры [3] с помощью прибора LI-CORLI-8100 (США), состоящего из накопительной камеры, инфракрасного газоанализатора и карманного компьютера (КПК). Камера плотно устанавливается на ровную поверхность, чтобы исключить поступление атмосферного газа. Для работы на поверхности воды камера помещается на плавучую платформу. Грунтовой газ прокачивается из камеры в анализатор и обратно через пластиковые трубки с помощью воздушного насоса. Поток измеряется в течение двухминутного цикла расчетом разницы концентрации CO₂ в камере в начале и в конце измерения. Расчет производится на месте с помощью КПК, подключенного к прибору по беспроводной связи. Измерения производятся в сухих и стабильных метеорологических условиях.

Озеро Кипящее, кальдера Головнина, о. Кунашир

Озеро Кипящее расположено в центральной части кальдеры вулкана Головнина. Вода озера заполняет депрессию с южной стороны Центрального восточного купола. Озеро имеет площадь 45600 м² при максимальном диаметре 300 метров.

Съемка грунтового потока CO₂ прибрежной зоны озера Кипящего произведена в сентябре 2020 г., съемка на поверхности воды озера – в июле 2021 г.

Измерения вдоль береговой линии выполнялись на лишенных растительности участках, сложенных озерными и гидротермальными отложениями. Было сделано 31 измерение на расстоянии не более 10 метров от кромки водной поверхности озера. Здесь показания варьируют от 0.5 до 11 г/м²/сутки при среднем значении 4.6 г/м²/сутки (табл. 1).

Таблица 1. Значения потока CO_2 береговой линии озера Кипящего

№	г/м ² /сутки	№	г/м ² /сутки	№	г/м ² /сутки	№	г/м ² /сутки
1	1.06	9	3.46	17	2.74	25	9.73
2	3.76	10	5.74	18	6.69	26	9.39
3	6.58	11	4.64	19	6.31	27	2.62
4	2.40	12	3.27	20	2.36	28	3.19
5	5.59	13	1.48	21	9.20	29	10.45
6	2.05	14	2.78	22	5.89	30	8.36
7	0.61	15	2.81	23	3.88	31	3.88
8	2.01	16	11.51	24	0.68		

На водной поверхности озера было выполнено 10 измерений. Поток CO_2 варьирует от 60 до 270 г/м²/сутки и в среднем составляет 114 г/м²/сутки (табл. 2). Наиболее интенсивный поток измерен в северо-восточной части озера (рис. 1).

Таблица 2. Значения потока CO_2 с поверхности воды озера Кипящего

№	г/м ² /сутки	№	г/м ² /сутки
1	73.18	6	62.30
2	107.77	7	149.40
3	134.23	8	84.50
4	60.97	9	276.60
5	76.71	10	116.21

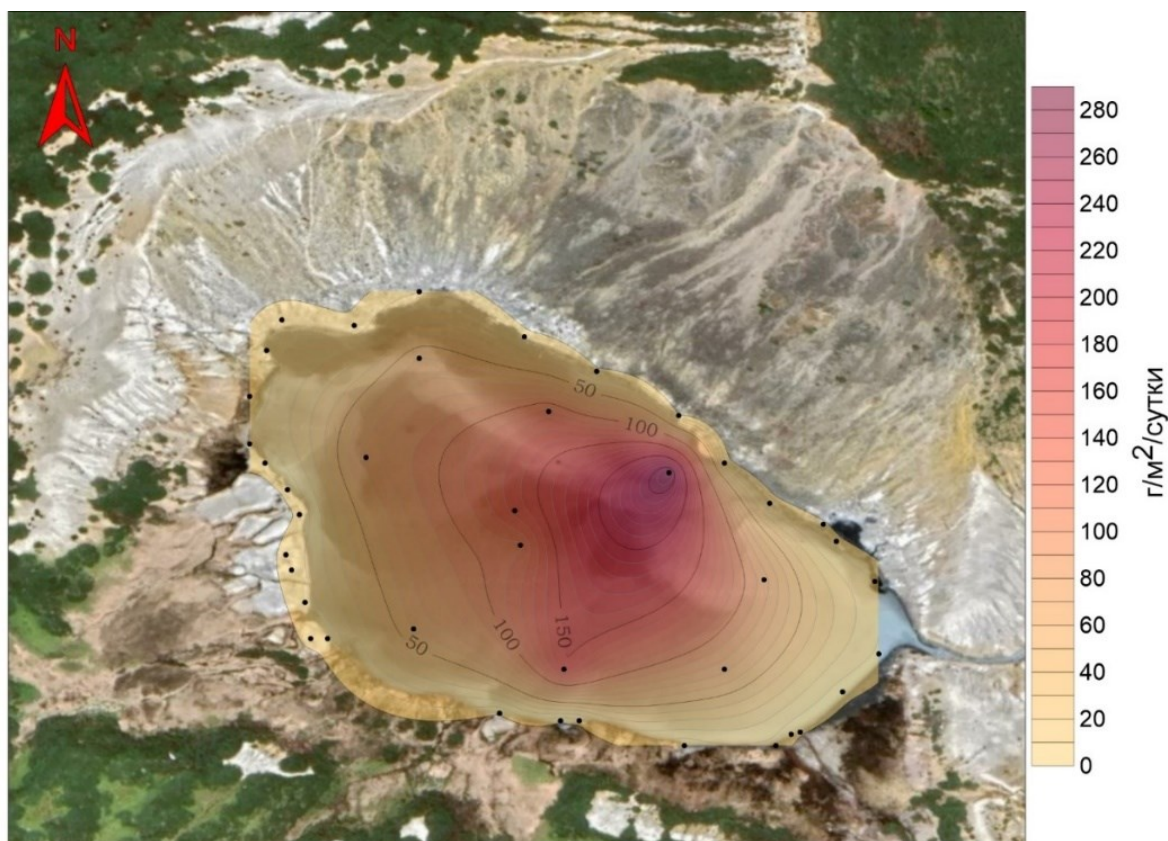


Рис. 1. Схема потока CO_2 озера Кипящего, наложенная на спутниковый снимок.

Проведенные измерения показали, что общий диффузионный поток с поверхности воды озера Кипящего составляет не менее 5230 кг/сутки и более 5400 кг/сутки с учетом потока с прибрежной зоны.

Поток с поверхности воды озера в среднем на два порядка превышает поток на прилегающих термальных полях. В зависимости от pH, большое количество CO_2 может вступать в реакцию с водой, образуя другие соединения, такие как HCO_3^- . В кислой воде ($\text{pH} < 4$) CO_2 не вступает в реакции, и поток газа из кратерного озера в атмосферу увеличивается. Также, CO_2 хуже растворяется в горячей воде. Таким образом, объем потока CO_2 зависит от количества газа, поглощенного водой [5].

На момент измерения температура воды на поверхности озера составляла 39°C , а pH был равен 2.2. Учитывая эти факторы, можно считать, что с водной поверхности в атмосферу поступает практически весь объем CO_2 , выделяющийся со дна озера. Большая интенсивность потока может говорить о высокой проницаемости пород, слагающих дно озера Кипящего. Низкие показания потока CO_2 на прибрежных термальных полях, по-видимому, связаны с тем, что здесь хорошо развиты плотные серные отложения, препятствующие выходу газов.

Бульвар им. Б.И. Пийпа, г. Петропавловск-Камчатский

Для сравнения грунтовых потоков CO_2 в областях с активной вулканической деятельностью с областями, в которых отсутствует вулканическая и гидротермальная деятельность, в июле-октябре 2022 г. была выполнена съемка в черте города Петропавловск-Камчатский. Измерения выполнялись на сухой почве при средней влажности воздуха. На площади около 20270 м^2 было выполнено 413 измерений. Показания скорости потока CO_2 редко превышают значение $50\text{ г/м}^2/\text{сутки}$ и напрямую зависят от густоты растительности (рис. 2). Так как на бульваре отсутствуют признаки вулканической деятельности, то можно с уверенностью сказать, что весь выделяющийся здесь диоксид углерода имеет биогенное происхождение, то есть источником служат жизнедеятельность бактерий, разложение органического материала и респирация корней растений. При среднем значении потока $29.64\text{ г/м}^2/\text{сутки}$, общий поток CO_2 с площади бульвара составляет около 600 кг/сутки в период максимального уровня жизнедеятельности растительности и обитающих в почве организмов.

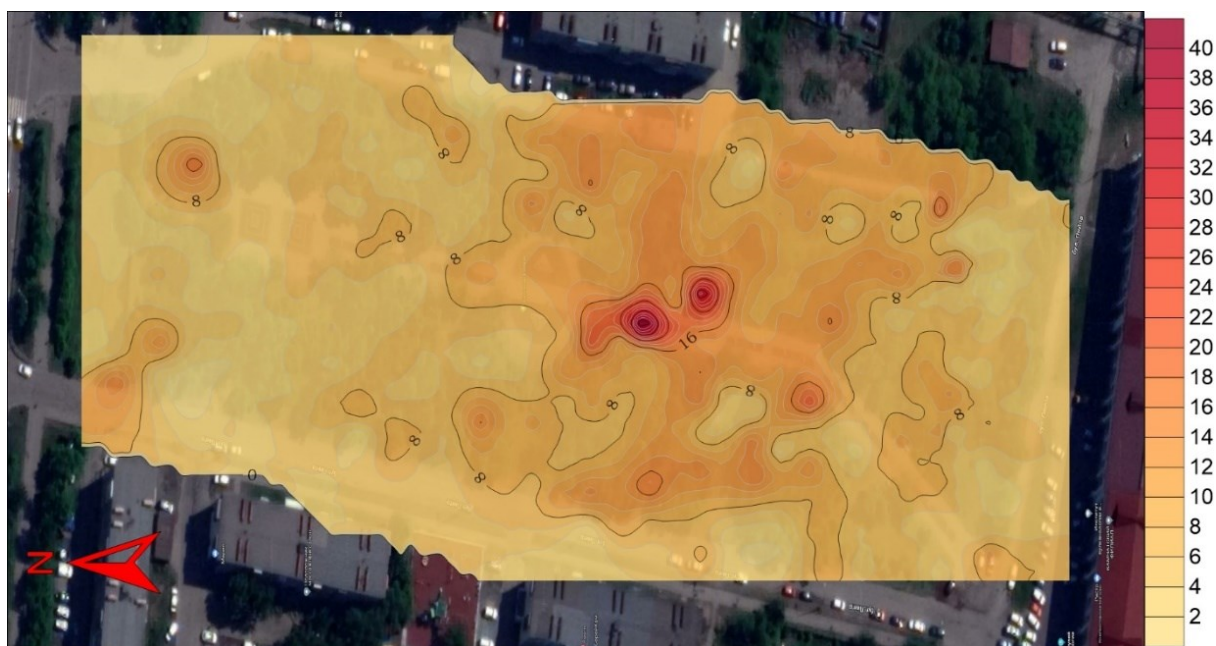


Рис. 2. Схема грунтового потока CO_2 на бульваре им. Б.И. Пийпа, наложенная на спутниковый снимок.

Проведенная работа показала, что диффузионный поток CO₂ с водной поверхности кальдерного озера значительно превышает как поток с близлежащих термальных полей, так и поток CO₂ с площади, не связанной с вулканической деятельностью.

Работа проводилась при поддержке гранта РФФ № 20-17-00016.

Список литературы

1. *Bernard A., Escobar C.D., Mazot A., Gutiérrez R.E.* The acid crater lake of Santa Ana volcano, El Salvador // *Geological Society of America Special Paper*. 2004. V. 375. P. 121-133.
2. *Bernard A., Mazot A.* Geochemical evolution of the young crater lake of Kelud volcano in Indonesia // In: *Proceedings of the 11th international symposium on water-rock interaction, Saratoga Springs, New York, USA*. 2004. P. 87-90.
3. *Chiodini G., Cioni R., Guidi M. et al.* Soil CO₂ flux measurements in volcanic and geothermal areas // *Applied Geochemistry*. 1998. V. 13. № 5. P. 543-552.
4. *Kling G.W., Kipphut G.W., Miller M.C.* Arctic lakes and streams as gas conduits to the atmosphere: implications for tundra carbon budgets // *Science*. 1991. V. 251. P. 298-301. <https://doi.org/10.1126/science.251.4991.298>
5. *Mazot A., Bernard A.* CO₂ degassing from volcanic lakes. In: *Volcanic lakes / Eds. Rouwet D., Christenson B., Tassi F., Vandemeulebrouck J.* Berlin: Springer-Verlag, 2015. P. 341-354. https://doi.org/10.1007/978-3-642-36833-2_15
6. *Mazot A., Taran Y.* CO₂ flux from the volcanic lake of El Chichón (Mexico) // *Geofisica Internacional*. 2009. V. 48. P. 73-83. <https://doi.org/10.22201/igeof.00167169p.2009.48.1.100>
7. *Werner C., Christenson B.W., Hagerty M., Britten K.* Variability of volcanic gas emissions during a crater lake heating cycle at Ruapehu Volcano, New Zealand // *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 2006. V. 154. P. 291-302. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2006.03.017>
8. *Werner C., Hurst T., Scott B. et al.* Variability of passive gas emissions, seismicity, and deformation during crater lake growth at White Island Volcano, New Zealand, 2002-2006 // *Journal of Geophysical Research*. 2008. V. 113. Art. B01204. <https://doi.org/10.1029/2007JB005094>