

## **Результаты съёмки почвенного потока CO<sub>2</sub> в кальдере вулкана Головнина (о. Кунашир)**

**К.В. Тарасов**

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, 683006; e-mail: [belfast@kscnet.ru](mailto:belfast@kscnet.ru)*

В работе приведены результаты измерений потока почвенного CO<sub>2</sub> на Центральном Западном фумарольном поле в кальдере вулкана Головнина, остров Кунашир, Курильские острова.

### **Введение**

Активным вулканическим структурам свойственно выделять большое количество CO<sub>2</sub> в атмосферу как в период извержения, так и в период покоя. Эти вулканогенно-гидротермальные разгрузки происходят с непосредственным выбросом парогазовой смеси активными фумаролами и диффузионными потоками газов через грунт. Диффузионная разгрузка, предположительно, является результатом подъёма большого объёма гидротермального флюида к поверхности [2, 4]. Водяной пар преимущественно конденсируется у поверхности, выделяя тепловую энергию, в то время как неконденсируемый CO<sub>2</sub> высвобождается в атмосферу. Объём вулканогенно-гидротермального CO<sub>2</sub>, дегазируемого путём диффузии через почву, может быть значительным и сравним с объёмом CO<sub>2</sub>, выделяемым фумаролами, а в некоторых случаях и с объёмом, выделяемым через кратеры активных вулканов [4]. Почвенная дегазация CO<sub>2</sub> глубинного происхождения обычно происходит не на всей площади вулканической системы, а на ограниченных участках, как правило, связанных с локальной тектоникой. Форма и размеры таких зон зависят от морфологических, геологических и структурных особенностей участка вулканической системы.

Объём газа и величину энергии, выделяемой в такой зоне, можно рассчитать с помощью измерения потока почвенного CO<sub>2</sub>. Этот метод применяют при проведении мониторинга, прогноза вулканической активности и лучшего понимания особенностей гидротермального процесса [5, 7]. Объектом наших исследований стало Центральное Западное фумарольное поле в кальдере вулкана Головнина. Целью исследований было опробование метода отбора и анализа потока почвенного (грунтового) CO<sub>2</sub>.

### **Кальдера вулкана Головнина и Центральное Западное фумарольное поле**

Вулкан Головнина расположен в южной части острова Кунашир и представляет собой обширную кальдеру диаметром порядка 4 км. В центре кальдеры расположены два андезидацитовых купола – Восточный и Западный Центральные. Северную часть кальдеры занимает озеро Горячее [1]. Центральное Западное фумарольное поле имеет площадь около 36 000 м<sup>2</sup>, с севера ограничивается берегом озера и простирается на северный склон Западного Центрального купола (рис. 1). В верхней части расположен крупный грязевой котёл. Поверхность поля преимущественно сухая, сложенная сильно изменёнными, до глинистого состояния, породами. Лишь в нижней, северной части поле дренируется небольшим ручьём. На всей площади поля существует большое количество трещин, часто инкрустированных самородной серой, через которые высвобождается вулканический газ.

В 2015 г. здесь были опробованы фумаролы и выходы свободного газа. Анализ газа показал, что CO<sub>2</sub> является основным составляющим компонентом (табл. 1).

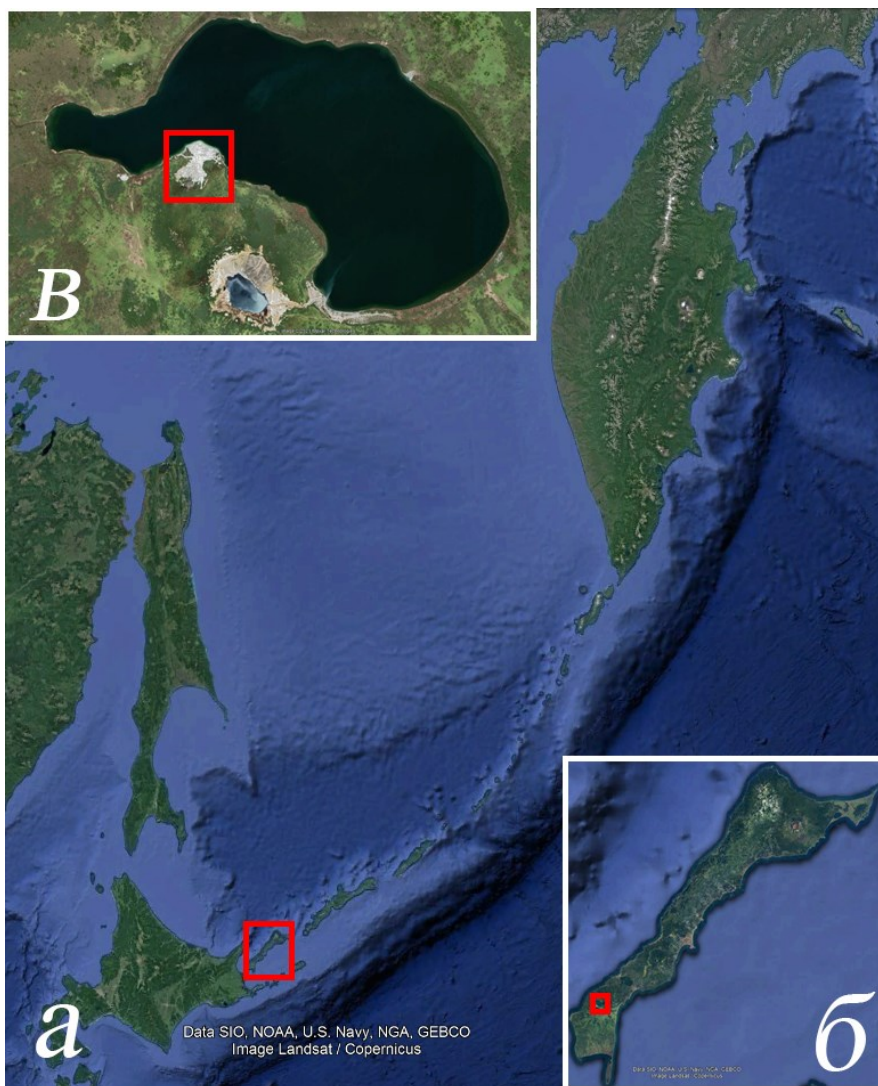


Рис. 1. Космические снимки: а – расположение острова Кунашир; б – расположение кальдеры вулкана Головнина; в – расположение Центрального Западного поля.

Таблица 1. Состав газов Центрального Западного поля, об. %; [6]

	Свободный газ	Фумарольный газ
t °C	–	96
CO <sub>2</sub>	88.88	68.09
H <sub>2</sub> S	6.35	29.77
He	0.00048	0.00016
H <sub>2</sub>	0.57	0.12
N <sub>2</sub>	3.11	1.44
Ar	0.03	0.021
O <sub>2</sub>	0.14	0.023
CH <sub>4</sub>	0.92	0.27
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	0.053	0.014
δ <sup>13</sup> C-CO <sub>2</sub> , ‰	-2.4	-2.6

### Методика

Замеры потока почвенного CO<sub>2</sub> производились методом накопительной камеры, подробно описанным в [3]. Работа велась с помощью прибора LI-CORLI-8100, состоящего из накопительной камеры, инфракрасного газоанализатора и карманного компьютера (КПК). Газ циркулирует из камеры в анализатор и обратно через пластиковые трубки с помощью воздушного насоса. Поток поступающего CO<sub>2</sub> рассчитывается на основании увеличивающейся со временем концентрации CO<sub>2</sub> в

камере. Расчёт производится на месте с помощью КПК, подключенного к прибору по беспроводной связи.

### Результаты

Во время работы было сделано 29 замеров (табл. 2). Все измерения были выполнены за один день в сентябре 2020 г., на сухой почве, при относительно постоянных температуре воздуха и атмосферном давлении.

Таблица 2. Полученные показания потока  $\text{CO}_2$  и температуры грунта

	г/м <sup>2</sup> /сут	T, °C		г/м <sup>2</sup> /сут	T, °C
1	50.90	46.08	16	40.41	31.7
2	68.62	78.28	17	13.64	35.55
3	16.23	64.46	18	39.72	21.66
4	20.91	35.88	19	6.53	22.38
5	3.23	23.66	20	9.58	26.07
6	46.22	30.84	21	79.26	22.63
7	5.81	51.89	22	8.93	24.52
8	103.67	31.73	23	31.93	23.42
9	26.07	44.12	24	3.42	21.37
10	20.75	20.91	25	75.00	43.84
11	76.29	20.05	26	20.56	21.95
12	441.17	31.43	27	11.97	66.12
13	8.55	18.43	28	14.90	21.05
14	178.02	19.02	29	69.56	20.12
15	34.55	17.91			

На основе полученных данных были построены схемы распределения концентрации высвобождающегося  $\text{CO}_2$  и температуры почвы (рис. 2).

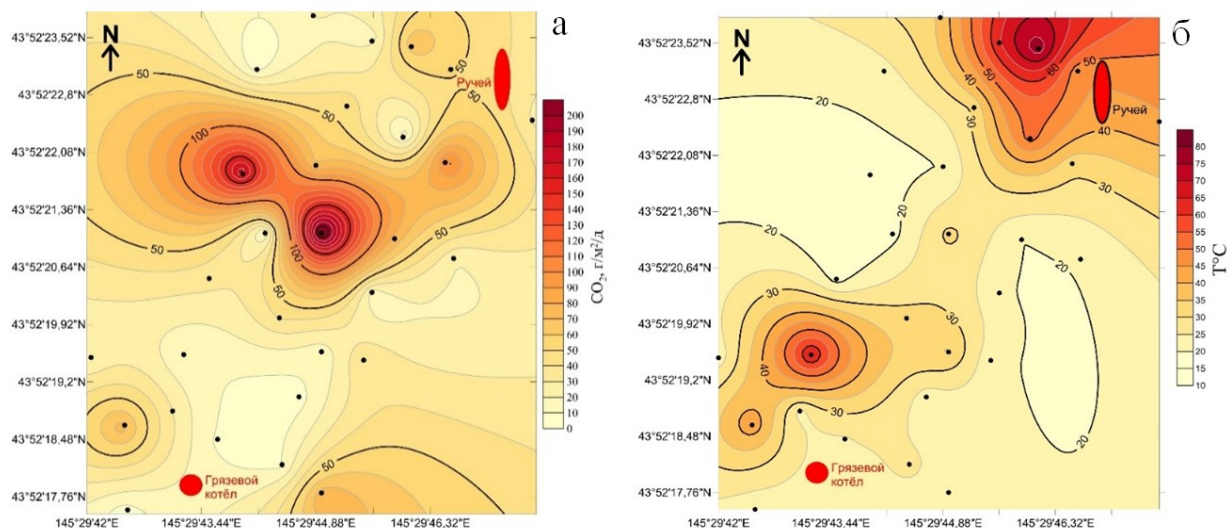


Рис. 2. Карта-схема распределения концентрации высвобождающегося  $\text{CO}_2$  на Центральном Западном поле (а) и температуры (б); ● – точки выполнения замеров.

На рисунке 2а видно, что наиболее интенсивный поток  $\text{CO}_2$  находится в центральной, наиболее сухой части поля, наименее интенсивный поток  $\text{CO}_2$  наблюдается в зоне с грязевым котлом.

На рисунке 2б показано, что максимальная температура почвы Центрального Западного поля связана с гидротермальными источниками – кипящим грязевым котлом в южной части поля и зоной впадения ручья в озеро Горячее.

По результатам съёмки можно отметить отрицательную корреляцию между интенсивностью потока  $\text{CO}_2$  и температурой почвы. Вероятно, это связано с разрывными нарушениями горных пород, пересекающими Центральное Западное поле с северо-запада на юго-восток. Трещиноватые горные породы в этой зоне могут быть объяснением лучшей проницаемости для вулканического газа, в данном случае  $\text{CO}_2$ , и меньшей теплоёмкости.

Показания почвенного потока  $\text{CO}_2$  варьируют в пределах 3.23-441.17 г/м<sup>2</sup>/сут и в среднем составляют 52.64 г/м<sup>2</sup>/сут. Зная площадь фумарольного поля и средний арифметический поток  $\text{CO}_2$  с одного квадратного метра, можно рассчитать средний поток. Таким образом, общий поток  $\text{CO}_2$  с поверхности фумарольного поля составляет не менее 1895 кг/сут (691.6 т/год).

### **Заключение**

Впервые на Курильских островах был применён метод накопительной камеры для измерения почвенного (грунтового) потока  $\text{CO}_2$ . Были получены данные о количестве выделяемого  $\text{CO}_2$  и составлены карты распределения потока и температуры почвы. Успешный опыт применения данного метода говорит о возможности продолжения этого направления исследований.

Работа проводилась при поддержке гранта РНФ № 20-17-00016 (рук. Е.Г. Калачева).

### **Список литературы**

1. *Мархинин Е.К.* Вулканы острова Кунашир // Труды лаборатории вулканологии. Вулканизм Камчатки и Курильских островов. 1959. Вып. 17. С. 64-155.
2. *Chiodini G., Frondini F., Raco B.* Diffuse emission of  $\text{CO}_2$  from the Fossa crater, Vulcano Island (Italy) // Bulletin of Volcanology. 1996. 58. P. 41-50.
3. *Chiodini G., Cioni R., Guidi M. et al.* Soil  $\text{CO}_2$  flux measurements in volcanic and geothermal areas // Applied Geochemistry 1998. 13. P. 543-552.
4. *Chiodini G., Frondini F., Cardellini C. et al.*  $\text{CO}_2$  degassing and energy release at Solfatara volcano, Campi Flegrei, Italy // Journal of Geophysical Research. 2001. Res. 106. P. 16213-16221.
5. *Chiodini G., Caliro S., Cardellini C. et al.* Carbon isotopic composition of soil  $\text{CO}_2$  efflux, a powerful method to discriminate different sources feeding soil  $\text{CO}_2$  degassing in volcanic-hydrothermal areas // Earth and Planetary Science Letters. 2008. 274. P. 372-379.
6. *Kalacheva E., Taran Y., Voloshina E., Inguaggiato S.* Hydrothermal system and acid lakes of Golovnin caldera, Kunashir, Kuril Islands: Geochemistry, solute fluxes and heat output // Journal of Volcanology and Geothermal Research. 2017. V. 346. P. 10-20. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2017.06.001>
7. *Mazot A., Rouwet D., Taran Y. et al.*  $\text{CO}_2$  and He degassing at El Chichón volcano, Chiapas, Mexico: gas flux, origin and relationship with local and regional tectonics // Bulletin of Volcanology. 2011. V. 73. № 4. P. 423-441. <https://doi.org/10.1007/s00445-010-0443-y>