

## **Первые данные о потоке почвенного CO<sub>2</sub> на термальных полях кальдеры Узон**

**Мельников Д.В., Калачева Е.Г.**

### **First data on the soil CO<sub>2</sub> flux in the thermal fields of Uzon caldera**

**Melnikov D.V., Kalacheva E.G.**

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

*e-mail: dvm@kscnet.ru*

Впервые проведены измерения эмиссии почвенного газа CO<sub>2</sub> на термальных полях кальдеры Узон. Измеренный средний поток CO<sub>2</sub> составляет 1362 г/м<sup>2</sup>/д, а максимальные измеренные значения достигают 17105 г/м<sup>2</sup>/д, что сопоставимо со средним и максимальным потоком CO<sub>2</sub> из почвы на других активных геотермальных полях с интенсивными фумарольными проявлениями.

В центре Карымско-Семячинского участка грабен-синклинория Восточной Камчатки располагается Узон-Гейзерная депрессия. Собственно кальдера Узон – более молодая западная часть депрессии – образование сложного тектонического генезиса. Она имеет черты как структуры проседания (кольцевой разлом со смещением >1 км), так и взрывной структуры [1].

Современная гидротермальная система кальдеры Узон пространственно делится на четыре поля: Западное, Северное, Восточное (Центральное) и район оз. Фумарольное. Термальные поля представляют собой участки аномального прогрева пород с развитием всевозможных форм газовой гидротермальной деятельности. Термальные поля локализируются в протяженную зону, интерпретируемую как разлом глубинного заложения, поскольку на него трассируются вулканы Кихпиньч, Узон, Тауншиц [1].

Несмотря на достаточно хорошую геологическую и гидрогеологическую изученность, в кальдере Узон не проводились работы по измерению потока почвенного газа CO<sub>2</sub>. В то же время, изучение динамики эмиссии этого газа предоставляет большие возможности и является достаточно распространенным методом исследования вулканических и гидротермальных областей, включая современные гидротермальные системы.

Как правило, результаты полевых измерений почвенной эмиссии CO<sub>2</sub> обрабатываются на основе статистических и геостатистических методов, которые были предложены в [2, 4]. Газовый поток из почвы обычно измеряется в единицах граммов на м<sup>2</sup> в сутки (г/м<sup>2</sup>/д). Результаты обработки данных почвенной эмиссии газа часто выявляют наличие как минимум двух статистических популяций FCO<sub>2</sub>. Они могут относиться как к выделению почвой биогенного CO<sub>2</sub>, связанному с окислением почвенного органического вещества, так и к эмиссии CO<sub>2</sub> метаморфического, гидротермального и/или вулканического происхождения. В первом случае FCO<sub>2</sub> не превышает нескольких десятков г/м<sup>2</sup>/д, а во втором случае может достигать значений до десятков тысяч г/м<sup>2</sup>/д [7].

В данной публикации мы представляем результаты измерений диффузного потока CO<sub>2</sub>, проведенные на I участке Восточного термального поля кальдеры Узон. Участок представляет собой серию термальных площадок, грязевых котлов, горячих озер. Также здесь расположено озеро Банное и гейзер Шаман. Работы проводились в сентябре 2023 г.

#### **Методы исследования**

Измерения эмиссии почвенного CO<sub>2</sub> проводились методом накопительной камеры PP Systems EGM-5 (США) в 100 точках (рис. 1) на I участке Восточного термального поля кальдеры Узон. Общая площадь, на которой проводились измерения, составляет 85 700 м<sup>2</sup>. Прибор PP Systems EGM-5 состоит из накопительной камеры объемом 1 171 мл и инфракрасного газоанализатора CO<sub>2</sub> с диапазоном измерений

0-100 000 ppm). Почвенный газ циркулировал из камеры в анализатор и обратно через пластиковые трубки с помощью воздушного насоса. Поток измерялся в течение двухминутного цикла путем расчета скорости увеличения концентрации  $\text{CO}_2$  внутри камеры. Температуру почвы измеряли на глубине 10 см отдельной термопарой. Измеренные значения  $\text{FCO}_2$  были обработаны с использованием статистического метода GSA (Graphical Statistical Approach) в соответствии с процедурой [4], чтобы охарактеризовать статистическое распределение  $\text{FCO}_2$  и сделать вывод об источнике диффузной дегазации.

Для построения ортофотоплана района проведения работ использовался квадрокоптер DJI Matrice 300 RTK с модулем ZENMUSE H20T, который состоит из цифровых камер – широкоугольной, зум-камеры и инфракрасной камеры.

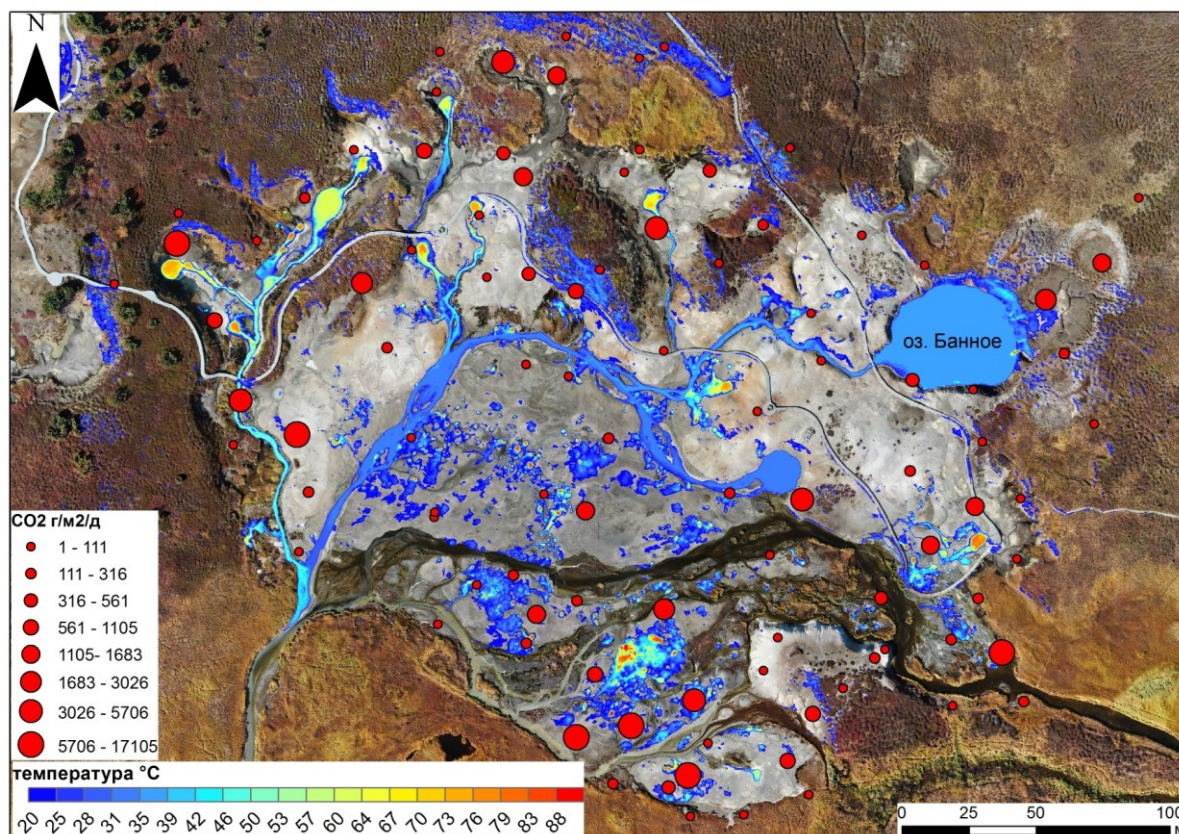


Рис. 1. Схема измерений почвенной эмиссии  $\text{CO}_2$ . Красные кружки – поток  $\text{CO}_2$  (г/м<sup>2</sup>/д). Градиентом от синего к красному цвету показаны температуры поверхности по данным инфракрасной съемки, полученной с использованием квадрокоптера DJI Matrice 300 RTK.

### Результаты исследования

Потоки почвенного  $\text{CO}_2$  на I участке Восточного термального поля кальдеры Узон колеблются от 1 г/м<sup>2</sup>/д до 17 105 г/м<sup>2</sup>/д со средним значением 1 362 г/м<sup>2</sup>/д. Полученные значения сопоставимы с эмиссией газа на других активных гидротермальных полях [7].

Гистограмма и логарифмически вероятный график  $\text{FCO}_2$  показывают (рис. 2) статистическое распределение, близкое к одной логарифмически нормальной популяции. Высокое среднее значение  $\text{FCO}_2$  указывает на то, что  $\text{CO}_2$ , высвобождаемый при дегазации почвы, в основном, поступает из эндогенного источника.

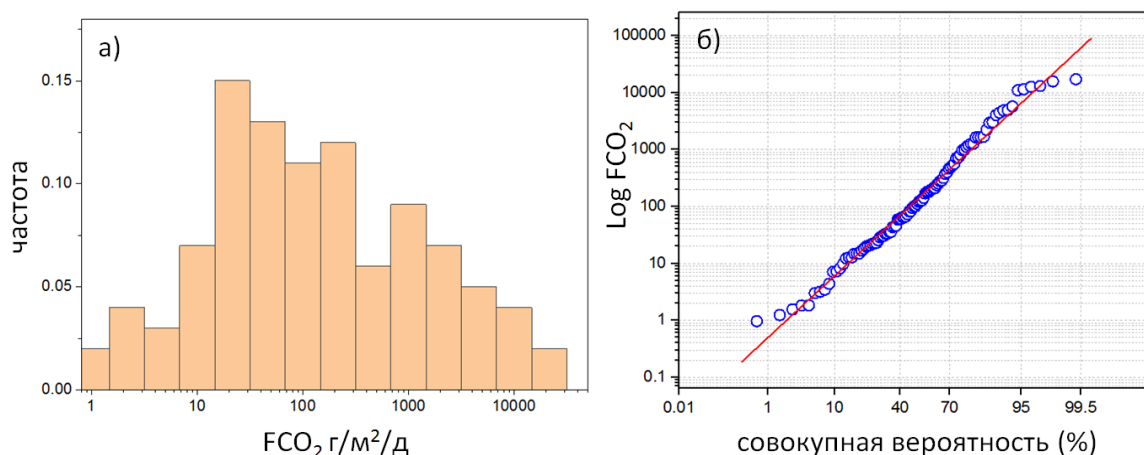


Рис. 2. а) гистограмма и б) вероятностный график измеренного  $FCO_2$ . Красная линия показывает статистическое распределение логарифмически нормальной популяции со средним значением  $\log(FCO_2) = 2.1$ .

### Результаты

Исследования, проведенные на I участке Восточного термального поля кальдеры Узон, показали высокие содержания почвенного углекислого газа. Измеренный средний поток  $CO_2$  составляет  $1\,362\text{ г/м}^2/\text{д}$ , а максимальный измеренный поток составляет  $17\,105\text{ г/м}^2/\text{д}$ , что сопоставимо со средним и максимальным потоком  $CO_2$  из почвы на других активных геотермальных полях с интенсивными фумарольными проявлениями (таблица) [7].

Таблица. Максимальное и среднее значение  $FCO_2$ , измеренное на термальных полях. Для средних потоков показаны диапазоны по данным, полученным в разные даты съемок

Расположение	Макс. $FCO_2$ (г/м <sup>2</sup> /д)	Средн. $FCO_2$ (г/м <sup>2</sup> /д)	Термальные проявления	Источник данных
I участок Восточного термального поля кальдеры Узон	17 105	1 362	Да	Настоящая публикация
Долина Смерти	28 984	1 272	Нет	[7]
Solfatara of Pozzuoli	72 000	647-2556	Да	[3]
Tree-kill, Long Valley	8 670	190-1900	Нет	[5]
Nisyros	6 175	40	Да	[2]
El Chichón	14 100	806-1524	Да	[6]

### Список литературы

1. Бычков А.Ю. Геохимическая модель современного рудообразования в кальдере Узон (Камчатка) // М.: ГЕОС. 2009. 124 с.
2. Cardellini C., Chiodini G., Frondini F. Application of stochastic simulation to  $CO_2$  flux from soil: Mapping and quantification of gas release // Journal of Geophysical Research. 2003. V. 108 (B9). Art. 2425.
3. Cardellini C., Chiodini G., Frondini F. et al. Monitoring diffuse volcanic degassing during volcanic unrests: the case of Campi Flegrei (Italy) // Scientific Reports. 2017. V. 7. 6757.
4. Chiodini G., Cioni R., Guidi M. et al. Soil  $CO_2$  flux measurements in volcanic and geothermal areas // Applied geochemistry. 1998. V. 13(5). P. 543-552.
5. Lewicki J.L., Hilley G.E., Tosha T. et al. Dynamic coupling of volcanic  $CO_2$  flow and wind at the Horseshoe Lake tree kill, Mammoth Mountain, California // Geophysical Research Letters. 2007. V. 34. Art. L03401.
6. Mazot A., Taran Y.  $CO_2$  flux from the volcanic lake of El Chichón (Mexico) // Geofisica Internacional. 2009. V. 48. P. 73-83.
7. Taran Y., Cardellini C., Tarasov K., Malik N. Diffusive emission of carbon dioxide and hydrogen sulfide from Valley of Death, Kamchatka, Russia // Journal of Volcanology and Geothermal Research. 2024. V. 447. Art. 108011.