

Диффузионный поток CO_2 в Долине смерти, вулкан Кихпинич, Камчатка

Тарасов К.В., Таран Ю.А.

The CO_2 flux in Death Valley of Kikhpinych volcano, Kamchatka

Tarasov K.V., Taran Yu.A.

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

e-mail: belfast@kscnet.ru

В работе представлены результаты измерений диффузного потока CO_2 в Долине смерти, полученных методом накопительной камеры. Измерения проведены во время полевых работ в августе 2023 г.

Введение

В самых верховьях реки Гейзерная, на западном склоне вулкана Кихпинич, на высоте около 900 м находится Долина смерти [2, 3] (рис. 1). Эта долина, открытая в 1975 г. В.Л. Леоновым, известна тем, что время от времени в нижней ее части находят трупы животных, погибших от скопления CO_2 в понижениях рельефа. В составе свободного газа, отобранного в 1979 г. из выхода в ручье, протекающем по Долине [1], преобладал CO_2 (96 %) с примесью сероводорода (0.2 %). Однако измерений потока и общего расхода этого газа с поверхности Долины смерти не проводилось.



Рис. 1. Географическое положение Долины смерти и общий вид в августе 2023 г.

Измерение потока CO_2 (FCO_2) из почвы в вулканических районах стало рутинной процедурой после начала использования метода накопительной камеры [6]. Появилось достаточно много работ по измерениям диффузного потока CO_2 (FCO_2) со склонов и кратеров вулканов, гидротермальных полей, тектонически подвижных районов [8]. Процедура обработки результатов площадных измерений, основанная на геостатистических методах, разработана [6] и [5].

Диффузный поток газа из почвы обычно измеряют в единицах $\text{г/м}^2/\text{сутки}$. Максимальные потоки, насколько нам известно, были измерены в кратере Сольфатары (Флегрейские Поля, Италия) и составляли до $72\,000\ \text{г/м}^2/\text{с}^{-1}$ [4, 5]. Как правило,

обработка данных, полученных в вулканических районах, показывает, что имеются по крайней мере две так называемые популяции в общем потоке CO_2 : почвенный (биогенный) CO_2 , связанный с окислением органического вещества почвы, и CO_2 метаморфической, гидротермальной и/или вулканической природы. В первом случае FCO_2 не превышает нескольких десятков $\text{г/м}^2/\text{с}^{-1}$, во втором – до десятков тысяч $\text{г/м}^2/\text{с}^{-1}$.

Методы

Измерения FCO_2 проводились методом накопительной камеры PP Systems EGM-5 (США) в 100 случайных точках нижней части Долины смерти на площади примерно 0.6 га (рис. 2). Прибор состоит из накопительной камеры объемом 1171 мл и инфракрасного газоанализатора CO_2 с диапазоном измерений 0-100000 ppm (здесь и далее имеются в виду объемные концентрации, ppmV). Камера плотно устанавливается на пластиковое кольцо, погруженное в почву, чтобы исключить поступление атмосферного газа. Грунтовый газ циркулирует из камеры в анализатор и обратно через пластиковые трубки с помощью воздушного насоса. Поток измеряется в течение двухминутного цикла расчетом разницы концентрации CO_2 в камере в начале и в конце измерения. Обработка результатов проводилась геостатистическими методами, следуя рекомендациям [6] и [5]. Одновременно измерялась температура почвы на глубине 10 см. Измерения производились в сухих и стабильных метеорологических условиях.

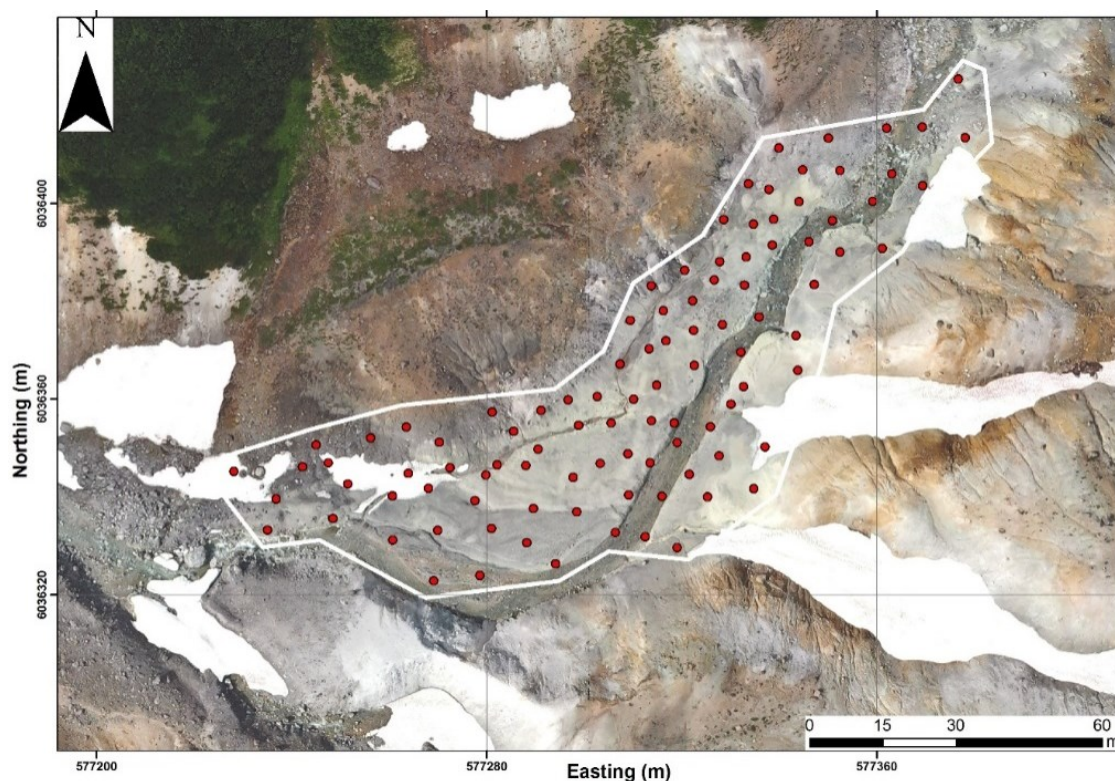


Рис. 2. Точки в Долине смерти, в которых проводились замеры FCO_2 . Ортофотоплан Д.В. Мельникова.

Результаты и обсуждение

Измеренные потоки CO_2 варьируют от 0 до 28 980 $\text{г/м}^2/\text{с}^{-1}$. Максимальная величина сравнима со значениями, полученными на активных сольфатарных полях, например, на Сольфатаре (Флегрейские поля, Италия). На рис. 3 приведена гистограмма значений FCO_2 , показывающая распределение, близкое к логнормальному, а также соответствующий вероятностный график, близкий к линейному в этих координатах.

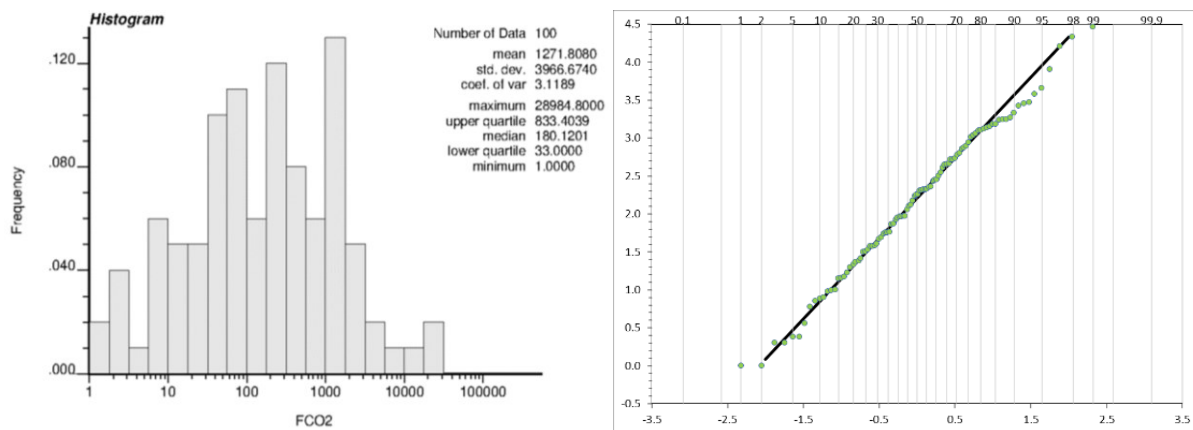


Рис. 3. Гистограмма и график распределения значений FCO_2 .

Это означает, что имеется лишь одна популяция значений FCO_2 , и что вклад почвенного CO_2 – продукта окисления почвенной органики – незаметен: CO_2 имеет гидротермальную природу.

В пределах Долины смерти и вверх по склону вулкана нигде не были обнаружены выходы свободных газов. В нескольких точках, с высоким, средним и низким измеренным потоком CO_2 , был отобран почвенный газ. Для этого выкапывался небольшой шурф, примерно $30 \times 30 \times 30 \text{ см}^3$, и газ отбирался в вакутейнеры объемом 10 мл через воронку, подкопанную в дно шурфа. Участки с различными потоками CO_2 отличались проницаемостью почвы: вода, залитая в шурфы в точках с высокими FCO_2 , сразу же исчезала, просачивалась через дно, задерживалась на некоторое время в точках со средним потоком и оставалась неопределенно долго там, где поток был низкий.

Карта распределения FCO_2 по площади (рис. 4), построенная методом гауссовой симуляции (sGs – sequential Gaussian simulation – [5, 7]), показывает, что максимальные значения образуют некую зону проницаемости северо-восточного простирания, возможно, связанную с локальной тектоникой. Общий поток CO_2 с площади измерений (0.65 га) рассчитан тем же методом и составил 7.9 т/сутки при среднем потоке $1272 \text{ г/м}^2/\text{с}^{-1}$.

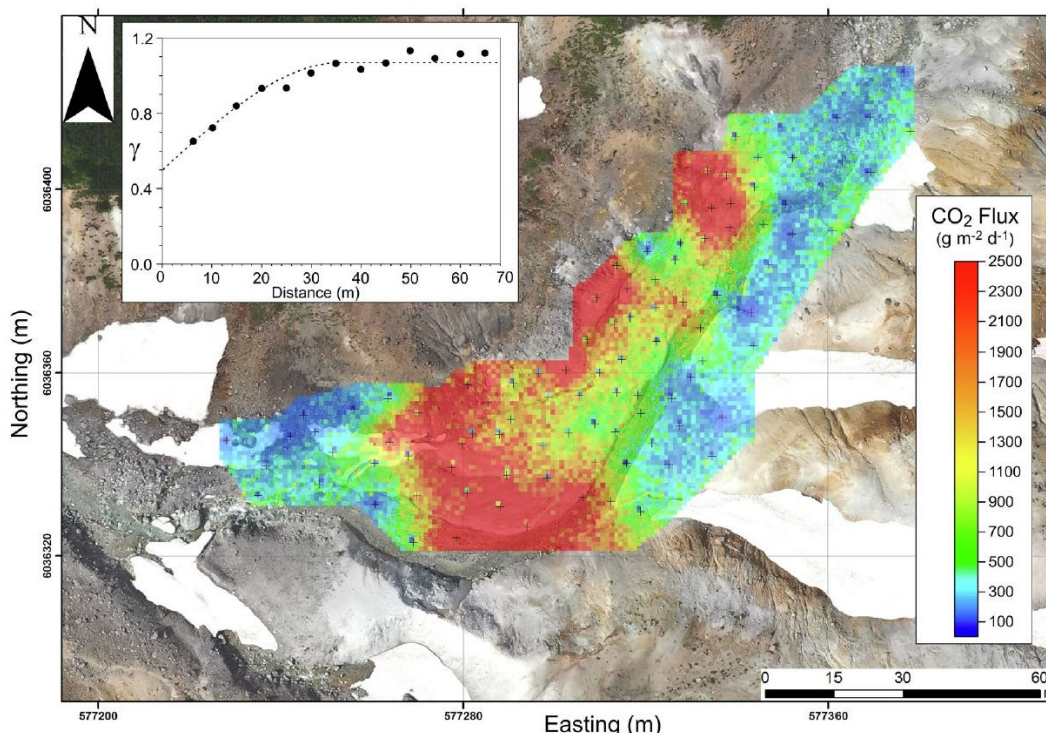


Рис. 4. Карта потока CO_2 и вариограмма, дающая параметры усреднения для метода sGs.

Температура почвы нигде не превышала 18 °С и не коррелировала с потоком CO₂, а в основном отражала погодные условия: в солнечное время была выше и наоборот.

Площадь дегазации в Долине смерти оказалась весьма ограниченной. Были проведены контрольные измерения вокруг главной площади, которые показали низкие FCO₂, ниже 3 г/м²/с⁻¹. Согласно [5], поток CO₂ кратера Сольфатара на Флегрейских полях измерялся с площади 140 га. При этом самые высокие потоки в точках отмечались на Сольфатаре, до 30 000 г/м²/с⁻¹ в 1998 г. и до 72 000 г/м²/с⁻¹ в период активизации в 2015-2016 гг. Однако на Сольфатаре точки с высокими потоками всегда показывали высокую температуру, вплоть до 96 °С [4]. При этом в пределах Сольфатары разгружаются мощные паровые струи с температурой до 160 °С, т.е. источником CO₂ служит геотермальный перегретый пар с содержанием CO₂ 20-30 вес. %. Средний поток с поверхности Сольфатары за все время наблюдений с 1998 по 2016 гг. оценивается в 1 210 г/м²/с⁻¹ [4]. Таким образом, средний поток с дегазирующей поверхности Долины смерти, 1 270 г/м²/с⁻¹, сравним с диффузионным потоком CO₂, производимым одним из самых активных термальных полей мира.

Заключение

Долина смерти на Камчатке отличается высоким диффузионно-адвекционным потоком диоксида углерода с небольшой площади (0.65 га). Измеренный средний поток составляет 1 272 г/м²/с⁻¹, а максимально измеренный поток – около 30 000 г/м²/с⁻¹, что сравнимо со средним и максимальными потоками почвенного CO₂ активных термальных полей с интенсивной сольфатарной деятельностью. Общий расход CO₂ около 8 тонн/сутки с дегазирующей поверхности соответствует конденсации более 3 кг/с геотермального пара на глубине, под непроницаемой толщей измененных пород.

Список литературы

1. Карпов Г.А., Заварзин Г.А., Миллер Ю.М. Состав воздуха и спонтанных газов в Долине смерти на Камчатке // Вулканология и Сейсмология. 1983. № 5. С. 107-110.
2. Леонов В.Л. Как была «открыта» Долина смерти на Камчатке. Труды Кроноцкого государственного природного биосферного заповедника. Выпуск 4. / отв. ред. Е.Г. Лобков. Петропавловск-Камчатский: Камчатпресс, 2015. 180 с.
3. Andrews R.G. The History and Mystery of Russia's 'Valley of Death'. 2019. (<https://www.atlasobscura.com/articles/russian-valley-of-death>)
4. Cardellini C., Chiodini G., Frondini F. et al. Monitoring diffuse volcanic degassing during volcanic unrests: the case of Campi Flegrei (Italy) // Scientific Reports. 2017. № 7. Art. 6757. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-06941-2>
5. Cardellini C., Chiodini G., Frondini F. Application of stochastic simulation to CO₂ flux from soil: Mapping and quantification of gas release // Journal of Geophysical Research. 2003. V. 108. № B9. Art. 2425. <https://doi.org/10.1029/2002JB002165>
6. Chiodini G., Cioni R., Guidi M. et al. Soil CO₂ flux measurements in volcanic and geothermal areas // Appl. Geochem. 1998. № 13. P. 543-552.
7. Deutsch C.V., Journel A.G. GSLIB: Geostatistical Software Library and Users Guide. Oxford University Press, 1998. V. 136.
8. Werner C., Fischer T., Aiuppa A. et al. Carbon Dioxide emission from subaerial volcanic regions. Two decades in review. In: Deep Carbon. Past to Present. Cambridge University Press, 2019. P. 188-236.