

Диффузионный поток CO₂ на термальных полях массива Большой Семячик, Камчатка

Тарасов К.В., Мельников Д.В.

Diffusional CO₂ flux on thermal fields of the Bolshoy Semyachik massive, Kamchatka

Tarasov K.V., Melnikov D.V.

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

e-mail: belfast@kscnet.ru

В работе представлены результаты измерений диффузионного потока CO₂ на термальных полях Парящая Долина и Верхнее поле вулкана Бурлящий (массив Большой Семячик), полученных методом накопительной камеры летом 2023 года. Сделана количественная оценка потока.

Вулкан Бурлящий расположен у западного подножия вулкана Зубчатка (Большой Семячик). С юга вулкан представляет собой пологий холм, разделенный долиной ручья Фумарольный, прорезающего его с востока на запад. Центральная часть вулкана в настоящее время является зоной мощной фумарольной деятельности. В 1970-х годах этот вулкан был подробно изучен Е.А. Вакиным [1]. Результаты этой работы включают в себя, помимо прочего, химический состав паровых струй и источников, а также результаты измерений выноса тепла в Парящей долине и на Верхнем термальном поле.

Наиболее типичными формами гидротермальной деятельности на массиве Большой Семячик являются струи перегретого и насыщенного пара, кипящие водяные и грязевые котлы, горячие и кипящие озера и, наконец, прогрев и пропаривание пород на значительных площадях. У юго-восточного подножия массива отмечено большое количество горячих и теплых источников со значительными дебитами. Все термальные поля сосредоточены в пределах единой зоны гидротермально измененных пород, протянувшейся на 5 км от вулкана Бурлящий на юг до ручья Кислый. Южнее на протяжении 2.5 км измененные породы перекрыты послеледниковыми вулканическими образованиями, а затем вновь появляются на поверхности на южных склонах массива в истоках ручья Теплый. На продолжении этой зоны у подножия массива располагается очаг разгрузки термальных вод [1].

Перекрытие измененных пород молодыми вулканогенными образованиями, наряду с находками таких же пород в моренах, свидетельствует о начале гидротермальной деятельности еще в доледниковое время, т.е. несколько десятков тысяч лет назад [1].

Наиболее активные центры современной гидротермальной деятельности расположены в сильно разрушенных постройках вулканов Бурлящий и Центральный Семячик. Самыми большими термальными полями являются Парящая долина и Верхнее термальное поле на вулкане Бурлящий, а также поле северного кратера Центрального Семячика. Вулкан Бурлящий настолько разрушен, что расшифровать его строение затруднительно [1].

В августе 2023 года на этих термальных полях вулкана Бурлящий впервые была произведена съемка грунтового потока CO₂ (FCO₂). Измерения проводились методом накопительной камеры PP Systems EGM-5 (США). Прибор состоит из накопительной камеры и инфракрасного газоанализатора CO₂. Камера плотно устанавливается на пластиковое кольцо, погруженное в почву, чтобы исключить поступление атмосферного газа. Грунтовой газ циркулирует 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. Одновременно измерялась температура почвы на глубине 10 см. Измерения производились в сухих и стабильных метеорологических условиях.

На территории Парящей долины измерения проводились в 40 точках (рис. 1). FCO₂ здесь варьирует от 1.5 до 5514 г/м²/сутки. По предварительным подсчетам, при

среднем значении $653 \text{ г/м}^2/\text{сутки}$ с площади около $21\,000 \text{ м}^2$ FCO_2 составляет около $14 \pm >10\%$ т/сутки. Температура грунта на термальном поле в целом коррелировала с температурой атмосферного воздуха и не превышала $23 \text{ }^\circ\text{C}$.

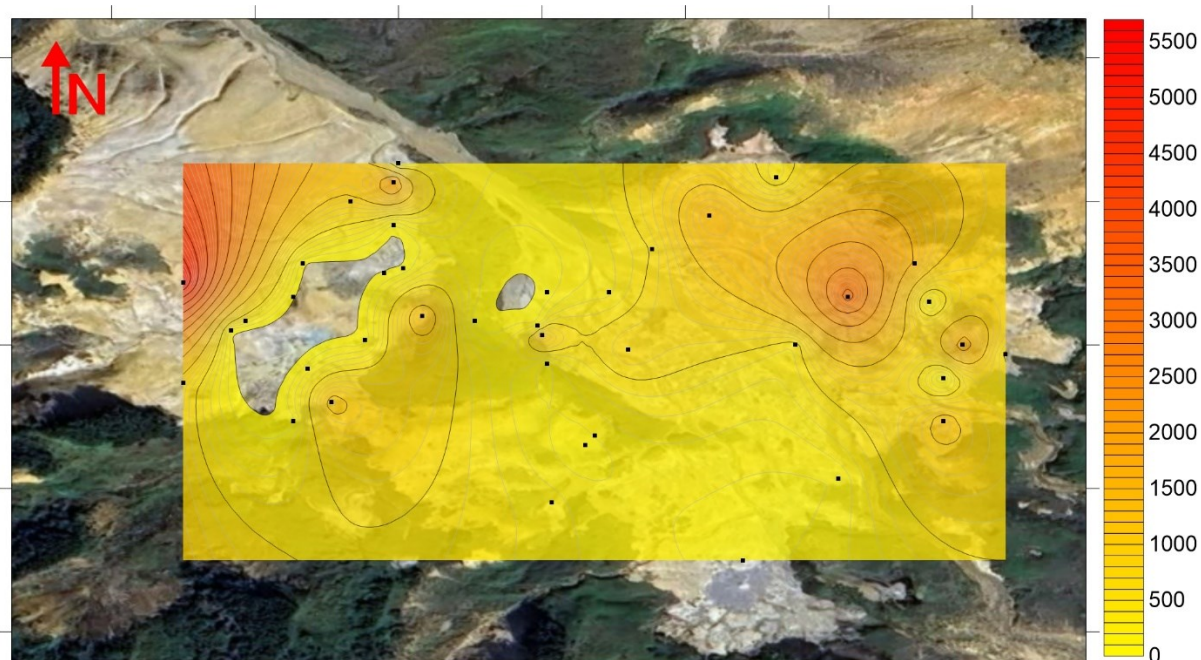


Рис. 1. Карта потока CO_2 Парящей долины, $\text{г/м}^2/\text{сутки}$.

На Верхнем термальном поле съемкой было охвачено около $31\,000 \text{ м}^2$ (рис. 2). Показания FCO_2 в 52 точках здесь составили $0.01\text{-}3447 \text{ г/м}^2/\text{сутки}$. Средний FCO_2 на этой площади составил $537 \text{ г/м}^2/\text{сутки}$, а общий – приблизительно $16.8 \pm >10\%$ т/сутки. Здесь температура грунта также отражала метеорологические условия и не превышала $31 \text{ }^\circ\text{C}$.

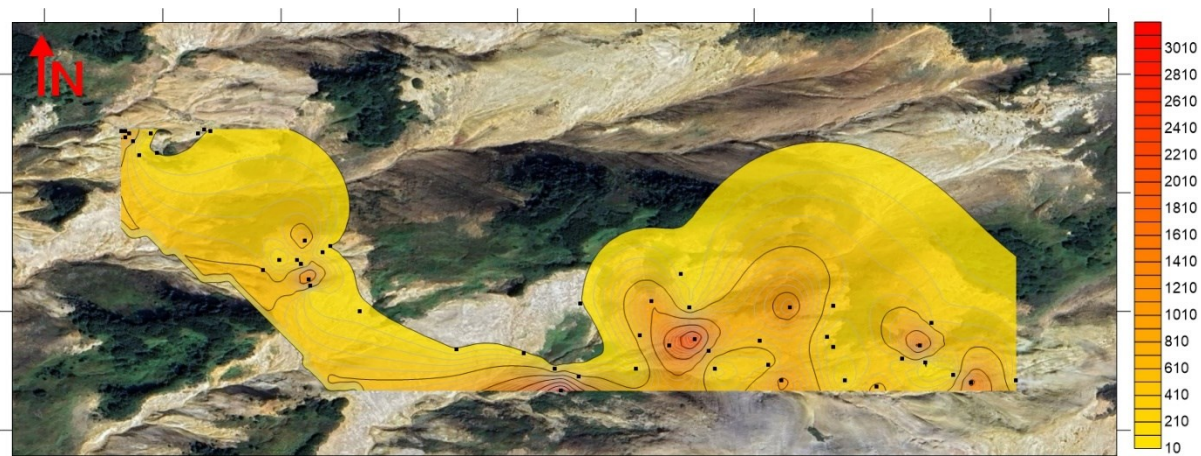


Рис. 2. Карта потока CO_2 Верхнего термального поля, $\text{г/м}^2/\text{сутки}$.

Как видно из таблицы, где сравниваются средние потоки CO_2 с поверхности некоторых геотермальных полей мира, на термальных полях вулкана Бурлящий FCO_2 ниже, чем на активных вулканах, в Долине смерти и Лонг Вэлли – районах, известных очень высоким FCO_2 . Однако, на порядок выше, чем на некоторых геотермальных полях Курильских островов.

Таблица. Средний FCO₂ на вулкане Бурлящий и других активных областях Камчатки, Курильских о-вов и мира

Место		Сред. FCO ₂ г/м ² /сутки	Термальные проявления	Ссылка
Термальные поля	Большой Семячик, Парящая долина	653	Есть	
	Большой Семячик, Верхнее поле	537	Есть	
	Долина смерти, Камчатка	1272	Нет	[6]
	Лонг Вэлли, Калифорния, США	1045	Нет	[4]
	вулкан Нисирос, Греция	40	Есть	[3]
	Зап. Поле, вулкан Головнина, Курилы	31	Есть	
	С-3 поле, вулкан Менделеева, Курилы	72	Есть	
Активные вулканы	Ю-В поле, вулкан Эбеко, Курилы	1564	Нет	[2]
	вулкан Эль Чичон, Мексика	1165	Есть	[5]

Примечание. Отсутствие ссылки означает, что это наши данные.

По данным 1976 года [1], паровые струи Парящей долины содержат ≈ 10 г CO₂ на 1 кг водяного пара, что, при рассчитанном FCO₂ (14 тонн/сутки), соответствует 1400 тоннам пара в сутки. При удельной энтальпии насыщенного пара при атмосферном давлении 2.7 МДж/кг, можно рассчитать, что под поверхностью Парящей долины потеря тепла сконденсировавшимся паром составляет около 44 МВт. В работе [1] измеренный вынос тепла газопаровыми струями равен 37.2 МВт, а измеренный вынос тепла за счет теплоотдачи грунта и рассредоточенного парения составляет 51 МВт. Эта величина близка к рассчитанной нами скрытой потере тепла (44 МВт), что может говорить об осуществлении прогрева грунта и поверхностных вод за счет частичной конденсации пара под термальным полем.

Точно так же, потеря тепла под Верхним термальным полем оценивается величиной 53 МВт, что также близко к измеренному выносу тепла за счет теплоотдачи грунта и рассредоточенного парения (45 МВт [1]). Учитывая значительные ошибки как наших измерений (>10 %), так и измерений, проведенных Е.А. Вакиным [1], время, прошедшее между измерениями, и некоторые другие факторы, близость величин независимо полученных характеристик более чем удовлетворительная.

Работа выполнена в рамках темы НИР ИВиС ДВО РАН «Роль гидротермальных систем Курило-Камчатской вулканической дуги в перераспределении мантийного и корового вещества в процессах минерало-рудогенеза» (FWME-2024-0006).

Список литературы

1. Вакин Е.А. Гидротермы вулканического массива Большой Семячик / Гидротермальные системы и термальные поля Камчатки / Отв. ред. В.М. Сугробов. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1976. С. 212-236.
2. Котенко Т.А., Мельников Д.В., Тарасов К.В. Газовая эмиссия вулкана Эбеко (Курильские острова) в 2003-2021 гг.: геохимия, потоки и индикаторы активности // Вулканология и сейсмология. 2022. № 4. С. 31-46.
3. 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.
4. Lewicki J.L., Hilley G.E., Tosha T. et al. Dynamic coupling of volcanic CO₂ flow and wind at the Horseshoe Lake tree kill, Mammoth Mountain, California // Geophysical Research Letters. 2007. 34. L03401.
5. Mazot A., Taran Y. CO₂ flux from the volcanic lake of El Chichón (Mexico) // Geofisica Internacional. 2009. V. 48. P. 73-83.
6. 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.