

Содержание микроэлементов в компонентах среды термальных полей Мутновского геотермального месторождения в августе 2023 г.

Позолотина Л.А.^{1,2}, Климова А.В.², Сергеева А.В.¹

Concentrations of trace elements in components of the thermal fields of Mutnovsky geothermal field in August 2023

Pozolotina L.A.^{1,2}, Klimova A.V.², Sergeeva A.V.¹

¹ *Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский;*

e-mail: Pozolotina@mail.ru

² *ФГБОУ ВО Камчатский государственный технический университет, г. Петропавловск-Камчатский;*

e-mail: annaklimovae@mail.ru

Представлены данные о содержании микроэлементов (Zn, Cd, Sr, Ba, Cu, Ni, Co, Pb, Mn, Cr, Al) в грунтах и у представителей класса листостебельных мхов (Bryopsida) термальных полей Мутновского геотермального месторождения в августе 2023 г.

Введение

В пределах Мутновского геотермального района расположен вулкан Мутновский с самыми мощными на Камчатке фумарольными полями и многочисленными выходами термальных вод и пара. Вулканическая и гидротермальная деятельность здесь началась в миоцене и продолжается до настоящего времени [2]. Под влиянием гидротермальных процессов формируются специфические условия местообитания на химически измененных породах и существенно отличающиеся от окружающих территорий по микроклимату, температурному режиму почв, влажности и составу приземного слоя воздуха, pH, геохимии субстратов и орографии. Формируются характерные для термальных полей фитоценозы [1]. Цель – исследовать содержание микроэлементов в компонентах среды термальных полей и выявить потенциал их аккумуляции представителями класса Bryopsida.

Материалы и методы

В ходе полевых работ в августе 2023 г. были собраны пробы грунта и мхов на термальных полях Мутновского геотермального месторождения: Северо-Мутновское (западная группа), Дачные источники (группа Активная) и в районе скважины № 022. В районе мест сбора были проведены физико-химические измерения среды (t, pH) (табл. 1).

Содержание элементов Zn, Cd, Sr, Ba, Cu, Ni, Co, Pb, Mn, Cr, Al в пробах грунта и мха определяли с помощью атомно-эмиссионного спектрометра с микроволновой плазмой AES-MP 4200 (Agilent Technologies, США). Подготовку к микроэлементному анализу предварительно высушенных при 70 °С проб проводили методом мокрой минерализации в системе кислотного разложения проб Ethos UP (Milestone, Италия). Образцы (~0.4 г сухой массы) помещали в тефлоновые тигли с раствором HNO₃ и деионизированной воды (7:1 v/v – для грунта и 6:2 v/v – для мха) и термостатировали при 200 °С в течение 15 минут. Полученные растворы доводили деионизированной водой до объема 15 мл. Для контроля точности определений использовали стандартные образцы листа березы (ЛБ-1, ГСО8923-2007), элодеи канадской (ЭК-1, ГСО8921-2007) с аттестованными значениями содержания металлов. Вычисление концентраций элементов и предварительную обработку полученных данных проводили в программе MP Expert и MS Office Excel. Значения содержания элементов в пробах приведены в мг/кг сухой массы.

Таблица 1. Сбор материала для анализа и некоторые физико-химические характеристики воды и грунта термальных полей

№ п/п	Описание пробы	Дата сбора	Район сбора	Место сбора	pH воды	t _{грунта/воды} , °C
1	Глина серая, вода	5.08.2023 г.	Северо-Мутновское термальное поле (западная группа)	берег ручья; ручей, дренирующий термальное поле (в начале)	6.23	-/1.3
2	Глина белая, вода			берег ручья дренирующий термальное поле, в начале	6.23	-/1.3
3	Грунт, мох			центр термального поля	-	-
4	Вода			ручей, дренирующий термальное поле, нижняя часть	5.38	18.2
5	Глина, вода	8.08.2023 г.	Термальное поле возле скважины № 022	район гидротермального взрыва; сток из небольшого озера новообразованного термального поля	3.26	97.6/ -
6	грунт, мох			периферия термального поля	-	18.0/ -
7	грунт, мох	8.08.2023 г.	Дачные источники, группа Активная	выше места разгрузки	5.6	-
8	грунт, мох			место разгрузки, субстрат прикрепления мха на камнях в ручье, дренирующий термальное поле	-	35.8/ -
9	грунт, мох			ниже места разгрузки, субстрат прикрепления мха на камнях в ручье, дренирующий термальное поле	4.19	16.6/ -

Для количественной оценки степени концентрирования мхом элементов из грунта использовали фактор аккумуляции биота-осадок (biota-sediment accumulation factor, BSAF) [3]. Вычисление проводили по формуле (1):

$$BSAF = C_b / C_s, \quad (1)$$

где C_b – содержание элемента в пробах мха, мг/кг сух. массы; C_s – содержание элемента в грунте, мг/кг сух. массы. Организм относят к концентраторам при $BSAF > 1$ [3].

Результаты и обсуждение

Получены данные о содержании 11 элементов в грунтах и листовых мхах трех термальных полей Мутновского геотермального месторождения (табл. 2). Во всех проанализированных пробах содержание Co и Ni было ниже предела обнаружения. Концентрации остальных элементов варьировали в широких диапазонах. При этом в грунтах и мхах в районе скважины № 022 были определены минимальные значения содержания элементов в отличие от проб, собранных на Северо-Мутновском термальном поле и Дачных источниках. Во всех пробах исследуемых районов выявлено большее содержание алюминия по сравнению с другими элементами.

Согласно значениям фактора аккумуляции, мох на периферии термальной площадки в районе скважины № 022 является концентратором рассматриваемых элементов. Также, по данному показателю, мох, собранный изо всех мест, аккумулирует Pb. Мох Северо-Мутновского термального поля (западная группа) является деконцентратором элементов Zn, Cd, Cu и Cr, фактор аккумуляции для которых составил менее 1.0 (табл. 3).

Таблица 2. Некоторые статистические показатели содержания микроэлементов (мг/кг) в пробах грунта и образцах мха термальных полей Мутновского геотермального месторождения в августе 2023 г.

Проба/образец	Параметр	Zn	Cd	Sr	Ba	Cu	Ni	Co	Pb	Mn	Cr	Al
Северо-Мутновское термальное поле (западная группа)												
Грунт (n=3)	Min-Max	<u>9.49-40.5</u>	<u>0.42-0.91</u>	<u>3.53-38.7</u>	<u>1.48-64.5</u>	<u>9.83-99.7</u>	<0.004	<0.003	<u>0-2.76</u>	<u>42.8-562.2</u>	<u>4.43-29.4</u>	<u>16667-79757</u>
	Mediana	20.7	0.76	22.0	54.7	66.7			1.85	160.3	4.81	71010
Мох	–	24.6	1.83	19.7	31.2	71.8	<0.004	<0.003	3.62	114.94	16.21	23317
Термальное поле (скважина № 022)												
Грунт (n=2)	Min-Max	<u>2.77-5.51</u>	<u>0.01-0.86</u>	<u>5.96-21.9</u>	<u>4.90-37.34</u>	<u>11.5-41.7</u>	<0.004	<0.003	<u>0-1.84</u>	<u>17.9-24.6</u>	<u>1.68-1.84</u>	<u>1777-2316</u>
	Mediana	4.14	0.43	13.9	21.12	26.60			0.92	21.23	1.76	2047
Мох	–	13.8	2.39	16.8	30.5	30.3	<0.004	<0.003	2.85	74.2	2.55	4084
Дачные источники (группа Активная)												
Грунт (n=3)	Min-Max	<u>36.4-61.3</u>	<0.01	<u>59.4-78.6</u>	<u>114.1-218.1</u>	<u>56.5-111.0</u>	<0.004	<0.003	<u>4.74-8.29</u>	<u>299.2-373.7</u>	<u>13.11-23.9</u>	<u>30366-40745</u>
	Mediana	53.9		68.7	188.8	92.3			6.61	302.4	15.23	35544
Мох (n=3)	Min-Max	<u>26.6-34.2</u>	<u>0.87-1.84</u>	<u>26.4-43.2</u>	<u>46.3-139.0</u>	<u>26.6-44.0</u>	<0.004	<0.003	<u>5.39-7.64</u>	<u>163.2-245.9</u>	<u>6.51-9.65</u>	<u>18677-37102</u>
	Mediana	29.1	1.46	36.0	136.8	30.6			7.35	194.6	7.73	19566

Примечание: n – количество проб/образцов в выборке.

Таблица 3. Фактор аккумуляции биота-осадок (BSAF)

№ п/п	Район сбора проб грунта и образцов мха	Zn	Cd	Sr	Ba	Cu	Pb	Mn	Cr	Al
1	Северо-Мутновское термальное поле (западная группа)	1.2	2.4	0.9	0.6	1.1	2.0	0.7	3.4	0.3
2	Термальное поле (скважина № 022)	3.3	5.6	1.2	1.4	1.1	3.1	3.5	1.4	2.0
3	Дачные источники (группа Активная)	0.5	–	0.5	0.7	0.3	1.1	0.6	0.5	0.6

Заключение

Ряды убывания содержания элементов в грунтах и мхах термальных полей Мутновского геотермального месторождения имели схожую последовательность в отношении пяти элементов – Al, Mn, Cr, Pb и Cd. Мох: Al (19566 мг/кг) > Mn (114.94 мг/кг) > Ba (31.2 мг/кг) > Cu (30.62 мг/кг) > Zn (24.6 мг/кг) > Sr (19.7 мг/кг) > Cr (7.73 мг/кг) > Pb (3.62 мг/кг) > Cd (1.83 мг/кг); Грунт: Al (35544 мг/кг) > Mn (160.3 мг/кг) > Cu (66.7 мг/кг) > Ba (54.65 мг/кг) > Sr (22.0 мг/кг) > Zn (20.7 мг/кг) > Cr (4.81 мг/кг) > Pb (1.85 мг/кг) > Cd (0.43 мг/кг).

В компонентах среды (грунт, мох) термального поля в районе скважины № 022 обнаружено минимальное содержание исследуемых элементов в отличие от мхов других исследуемых районов. Однако фактор аккумуляции (BSAF) для мхов данного поля был больше 1.0, что соответствует высокой концентрационной способности.

Список литературы

1. Самкова Т.Ю. Влияние гидротермальных процессов на растительность (на примере Паужетской гидротермальной системы Камчатки). Автореф. дис. на соиск. уч. ст. канд. биол. наук. Петропавловск-Камчатский, 2009. 25 с.
2. Чудаев О.В. Состав и условия образования современных гидротермальных систем Дальнего Востока России. Владивосток: Дальнаука, 2003. 216 с.
3. Ghosn M., Mahfouz C., Chekri R. et al. Assessment of trace element contamination and bioaccumulation in algae (*Ulva lactuca*), bivalves (*Spondylus spinosus*) and shrimps (*Marsupenaeus japonicus*) from the Lebanese coast // Regional Studies in Marine Science. 2020. V. 39. Art. 101478. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2020.101478>