

Активный биомониторинг в оценке влияния пеплопадов на загрязнение воздуха

Чернягина О.А.¹, Зиньковская И.И.², Юшин Н.С.²

Active biomonitoring in assessing the impact of ashfalls on air pollution

Chernyagina O.A., Zinikovskaya I.I., Yushin N.S.

¹ Камчатский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский;

e-mail: kamchatika@mail.ru

² Объединенный институт ядерных исследований, г. Дубна

Впервые активный биомониторинг с использованием техники «мох в мешочках» был применен на Камчатке для оценки влияния пеплопадов на качество воздуха. Содержание Al, Ba, Co, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, P, Pb, Sr, S, V и Zn в экспонированных и контрольных образцах мха было определено на ИСП-ОЭС. Содержание элементов в экспонированных образцах практически во всех точках было выше по сравнению с контролем.

Введение

Вулканы, во время извержения которых в воздух выбрасываются миллионы тонн пепла и газов, являются одними из наиболее важных природных загрязнителей воздуха. Шивелуч – наиболее активный вулкан Камчатки, расположенный в северной части Центральной Камчатской депрессии, в 50 км от пос. Ключи и в 450 км от г. Петропавловск-Камчатский [1]. Извержение вулкана в апреле 2023 года привело к выбросу огромного количества пепла, который выпал в населенных пунктах, находящихся вблизи вулкана. Как известно, помимо газообразных загрязнителей, пепел является важным источником загрязнения воздуха тяжелыми металлами.

Мхи рассматриваются как один из основных биологических индикаторов загрязнения воздуха из-за их широкого распространения, простоты строения, высокой скорости размножения, роста на территориях с разным уровнем загрязнения и возможности мониторинга концентраций загрязнителей различного происхождения [3, 5]. Поскольку у мхов отсутствует хорошо развитая корневая система, они поглощают питательные вещества и загрязняющие вещества в основном из воздуха [4].

В 1971 г. Гудман и Робертс предложили использовать технику «мох в мешках», которая заключается в сборе мха в относительно чистом (фоновом регионе) и экспонировании его на исследуемой территории в специальных проливаемых для воздуха мешочках [6]. На сегодняшний день данная техника широко используется во многих странах мира.

Целью данной работы стало использование техники «мох в мешках» для определения влияния пеплопадов на качество воздуха в населенных пунктах вблизи вулкана Шивелуч.

Материалы и методы

Для проведения активного биомониторинга был выбран мох *Sphagnum girgensohnii*. Мох был собран в мае 2022 г. в водно-болотном угодье Тверской области, которая, по результатам пассивного биомониторинга, является самым чистым регионом в центральной России. Пробоподготовка мха перед экспонированием подробно описана в ранее выполненных работах [6]. Мешочки со мхом развешивали на территории Елизовского, Быстринского, Усть-Камчатского районов (рисунок). По окончании периода экспонирования мешочки со мхами хранили в закрытых бумажных пакетах. Часть неэкспонированного материала хранили в лаборатории и использовали в качестве контроля при расчетах.

В лаборатории растительное сырье извлекали из мешков, сушили до постоянной массы при температуре 105 °С и гомогенизировали в планетарной мельнице Pulverisette 6 («Fritsch», Германия).

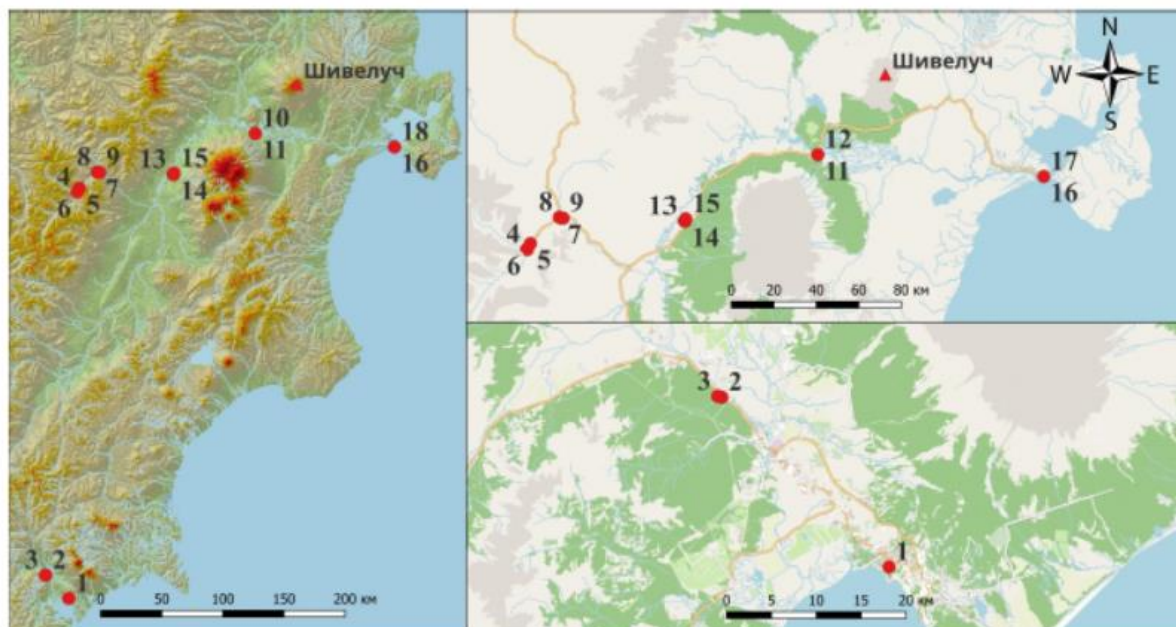


Рисунок. Карта экспонирования мешочков со мхами.

Для проведения элементного анализа 0.5 г мха помещали в тефлоновые сосуды и добавляли 5 мл концентрированной HNO_3 («Sigma-Aldrich», Германия) и 2 мл H_2O_2 (Sigma-Aldrich, Германия). Разложение проводили при 180 °С в микроволновой системе разложения Mars 6 (СЕМ, США). После охлаждения пробы количественно переносили в колбы емкостью 50 мл и доводили до объема деионизированной водой. Более подробную информацию о подготовке проб можно найти в работе [7]. Содержание Al, Ba, Co, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, P, Pb, Sr, S, V и Zn определяли на оптико-эмиссионном спектрометре с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-ОЭС) PlasmaQuant 9000 Elite (Analytik Jena, Германия). Калибровочные растворы готовили из стандартного раствора IV-STOCK-27 (Inorganic Ventures, США). Все контрольные стандарты анализировали повторно после каждых 10 проб.

Контроль качества измерений обеспечивался анализом эталонного материала «Листья табака восточной басмы» (INCT-OBTL-5). Извлечение элементов из стандартного материала варьировало от 96 % до 110 %.

Результаты и обсуждение

Как видно из данных, представленных в таблице, содержание элементов в экспонированных пробах мха было значительно выше по сравнению с контрольными образцами. Помимо населенных пунктов вблизи вулкана, мхи экспонировали также в г. Петропавловск-Камчатский и вблизи города Елизово. Содержание всех элементов, кроме P и S, в образцах мха, экспонированных в г. Петропавловск-Камчатский (точка № 1), было выше по сравнению с контролем. Так как город не был подвержен пеплопадам, основными источниками элементов в данном случае можно считать транспорт и дорожную пыль [2]. Вблизи г. Елизово (точки №№ 2, 3) содержание основной части элементов было на уровне контроля, кроме Zn, Ba, Mn, источником которых можно считать осаждение частиц почвы и дорожной пыли.

Таблица. Содержание химических элементов (мг/кг) в контрольных и экспонированных образцах мха

№ точек экспонирования	Определенные элементы														
	Al	Cu	Cd	Co	Pb	Zn	V	Ba	Cr	Mn	P	S	Sr	Fe	Ni
<i>контроль</i>	<i>217</i>	<i>3.9</i>	<i>0.14</i>	<i>0.25</i>	<i>1.80</i>	<i>25.5</i>	<i>0.54</i>	<i>22.63</i>	<i>0.34</i>	<i>215</i>	<i>1966</i>	<i>1256</i>	<i>10.40</i>	<i>215</i>	<i>1.44</i>
1*	430	4.9	0.23	0.37	2.36	70.8	1.32	45.2	0.49	338	1191	1161	15.6	577	2.30
2	197	3.7	0.13	0.23	1.86	26.6	0.47	23.5	0.31	304	1945	1180	12.1	231	1.03
3	215	4.3	0.16	0.28	2.34	55.3	0.55	36.4	0.31	352	1732	1209	13.9	278	1.23
4	303	4.7	0.15	0.26	1.89	49.8	0.62	40.3	0.35	348	2051	1395	16.1	311	1.41
5	315	4.1	0.13	0.25	1.68	45.0	0.76	33.7	0.33	318	2045	1323	15.2	341	1.42
6	369	4.7	0.15	0.29	1.96	49.1	1.06	37.4	0.39	340	2101	1402	16.3	427	1.72
7	796	5.1	0.15	0.37	1.83	56.9	2.05	41.8	0.53	368	2207	1475	19.3	704	1.52
8	401	5.7	0.20	0.34	2.76	90.1	0.94	62.2	0.43	434	2038	1495	19.4	400	1.59
9	711	5.4	0.19	0.40	2.41	86.0	1.61	53.3	0.50	410	1947	1431	19.6	577	1.55
10	424	5.0	0.14	0.33	1.83	34.0	1.19	29.5	0.81	310	1856	1361	13.8	427	1.48
11	362	4.5	0.15	0.31	1.77	37.0	0.87	31.1	0.58	324	1664	1234	13.7	344	1.30
12	387	4.4	0.14	0.33	1.90	30.4	0.97	27.1	0.68	316	1800	1289	12.7	384	1.27
13	1024	5.1	0.14	0.51	2.48	39.2	2.55	38.7	1.02	309	1259	1017	17.7	830	1.50
14	404	4.5	0.14	0.31	1.89	50.3	0.91	47.4	0.45	332	1434	1096	13.8	368	1.28
15	573	4.9	0.15	0.36	1.81	53.6	1.39	41.8	0.75	381	1373	1136	16.4	493	1.46
16	981	6.4	0.16	0.95	2.27	49.5	3.81	43.1	3.34	339	1455	1234	15.7	1366	6.29
17	702	5.8	0.13	0.70	2.00	33.7	2.63	28.9	2.20	307	1683	1253	13.6	996	4.69
18	595	5.0	0.14	0.58	2.31	49.9	1.95	41.9	1.79	327	1406	1131	14.5	807	3.77

Примечание. 1 – г. Петропавловск-Камчатский; 2, 3 – в 40 км от г. Елизово; 4, 5, 6 – с. Эссо; 7, 8, 9 – с. Анавай; 10, 11, 12 – п. Ключи; 13, 14, 15 – п. Козыревск; 16, 17, 18 – п. Усть-Камчатск.

В точках 4-6 (с. Эссо), содержание Al, Cd, Pb, Cu, Co, Cr, P, S и Ni было на уровне или чуть выше контроля, содержание Zn, V, Ba, Sr, Fe выше на 15-97%. Источником этих элементов предположительно может быть вулканический пепел. Во мхах, экспонированных в с. Анавгай (точки №№ 7-9), содержание всех элементов, кроме P и Ni, было выше контроля. Самое высокое накопление наблюдалось для Al, Ba, Zn, V, Fe и Sr. Стоит отметить, что во мхах накапливались одни и те же элементы вне зависимости от расположения точки экспонирования, и накопление элементов было выше, чем в г. Петропавловск-Камчатский. В поселке Ключи (точки №№ 10-12) во мхах накапливались Cu, Co, Zn, V, Ba, Cr, Sr и Fe. Мхи, экспонированные в п. Козыревск, накопили Al, Co, Zn, V, Ba, Cr, Sr, Mn и Fe, а в образцах, экспонированных в п. Усть-Камчатск, наблюдали накопление Cu, Co, Pb, Zn, V, Ba, Cr, Sr, Ni, и Fe. Ввиду отсутствия в описанных населенных пунктах крупных промышленных предприятий можно считать вулканический пепел важным источником накопления химических элементов в образцах мха. В дальнейшем планируется определение элементного состава пепла и сопоставление результатов с данными, полученными в настоящей работе.

Список литературы

1. *Гурина О.А., Лупян Е.А., Хорват А. и др.* Анализ развития пароксизмального извержения вулкана Шивелуч 10-13 апреля 2023 года на основе данных различных спутниковых систем // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2023. Т. 20. № 2. С. 283-291.
2. *Apeagyei E., Bank M.S., Spengler J.D.* Distribution of heavy metals in road dust along an urban-rural gradient in Massachusetts // *Atmospheric Environment*. 2022. V. 45. P. 2310-2323. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2010.11.015>
3. *Macedo-Miranda G., Avila-Pérez P., Gil-Vargas P. et al.* Accumulation of heavy metals in mosses: a biomonitoring study // *Springerplus*. 2016. V. 5. P. 1-13. <https://doi.org/10.1186/s40064-016-2524-7>
4. *Świsłowski P., Kosior G., Rajfur M.* The influence of preparation methodology on the concentrations of heavy metals in *Pleurozium schreberi* moss samples prior to use in active biomonitoring studies // *Environmental Science and Pollution Research*. 2021. V. 28. P. 10068-10076. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11484-7>
5. *Vuković G., Urošević M.A., Pergal M. et al.* Residential heating contribution to level of air pollutants (PAHs, major, trace, and rare earth elements): a moss bag case study // *Environmental Science and Pollution Research*. 2015. V. 22. P. 18956-18966. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-5096-0>
6. *Zinicovscaia I., Aničić Urošević M., Vergel K. et al.* Active moss biomonitoring of trace elements air pollution in Chisinau, Republic of Moldova // *Ecological Chemistry and Engineering S*. 2018. V. 25. № 3. P. 361-372. <https://doi.org/10.1515/eces-2018-0024>
7. *Zinicovscaia I., Hramco C., Chaligava O. et al.* Accumulation of potentially toxic elements in mosses collected in the Republic of Moldova // *Plants*. 2021. V. 10. P. 1-13. <https://doi.org/10.3390/plants10030471>