

Оригинальная статья / Original article

УДК 504.064.3

DOI: 10.18470/1992-1098-2023-1-157-168

Анализ атмосферных выпадений на территории республики Северная Осетия-Алания по данным биомониторинга

Инна З. Каманина^{1,2}, Светлана П. Каплина^{1,2}, Марина В. Густова²,Дзерасса Н. Чигоева³, Илья И. Виноградов^{1,2}¹Государственный университет «Дубна», Дубна, Россия²Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия³ОАО «Русатом Гринвэй», Москва, Россия

Контактное лицо

Инна З. Каманина, кандидат биологических наук, кафедра экологии и наук о Земле Государственного университета «Дубна»; 141980 Россия, г. Дубна, ул. Университетская, д. 19
Тел. +79161655926

Email kamanina@uni-dubna.ruORCID <https://orcid.org/0000-0001-9186-8689>

Формат цитирования

Каманина И.З., Каплина С.П., Густова М.В., Чигоева Д.Н., Виноградов И.И. Анализ атмосферных выпадений на территории республики Северная Осетия-Алания по данным биомониторинга // Юг России: экология, развитие. 2023. Т.18, N 1. С. 157-168. DOI: 10.18470/1992-1098-2023-1-157-168

Получена 18 мая 2022 г.

Прошла рецензирование 19 июля 2022 г.

Принята 5 сентября 2022 г.

Резюме

В связи с возрастающим интересом к туристическому потенциалу республики Северная Осетия-Алания существует потребность в контроле загрязнения атмосферного воздуха.

Цель настоящего исследования – оценка возможности использования мхов в качестве биомониторов для определения тяжелых металлов и других следовых элементов на территории республики.

Материалы и методы. В качестве биоиндикаторов использованы зеленые мхи *Hylocomium splendens* и *Pleurozium schreberi*. Многоэлементный химический анализ мхов выполнен рентгенофлуоресцентным методом, морфология и состав пылевых выпадений на поверхности мха изучена при помощи растрового электронного микроскопа, оснащенного рентгеновским энергодисперсионным спектрометром.

Результаты. Максимальное содержание Pb, Zn, Cr, As, Sn, Sb, Ba, Cd, Cu, Ti, Ce, As, Fe, Sr отмечается во мхах на территориях с высокой аэротехногенной нагрузкой. Анализ мхов-биомониторов в районе Фиагдонского хвостохранилища свидетельствует об эффективности рекультивационных мероприятий. Токсичные элементы оседают на поверхность мха в составе тонкодисперсных частиц, в том числе до 1 мкм, что представляет серьезную опасность для человека.

Выводы. Аномально высокое содержание Zn, Pb, Cd, Cu, Ce, As, Fe, Sr, Ti, Ba в составе мхов-биомониторов отмечается в зоне влияния предприятий горноперерабатывающей (в районе Унальского хвостохранилища) и металлургической (ОАО «Электроцинк» и ОАО «Победит» в г. Владикавказ) промышленности. Основным источником токсичных элементов являются аэротехногенные тонкодисперсные частицы, аккумулированные на поверхности мхов, что подтверждает высокую эффективность их использования для мониторинга. Территория в районе села Дур Дур можно рекомендовать как фоновую для эколого-геохимических исследований.

Ключевые слова

Тяжелые металлы, загрязнение атмосферного воздуха, биомониторинг, хвостохранилище, мох, Северная Осетия.

Analysis of atmospheric deposition in the territory of the Republic of North Ossetia-Alania by biomonitoring data

Inna Z. Kamanina^{1,2}, Svetlana P. Kaplina^{1,2}, Marina V. Gustova²,
Dzerassa N. Chigoeva³ and Iliy I. Vinogradov^{1,2}

¹Dubna State University, Dubna, Russia

²Joint Institute for Nuclear Researches, Dubna, Russia

³Rusatom Greenway Ltd, Moscow, Russia

Principal contact

Inna Z. Kamanina, Candidate of Biological Sciences,
Department of Ecology and Earth Sciences, Dubna
State University; 19 Universitetskaya St, Dubna,
Moscow Region, Russia 141980.

Tel. +79161655926

Email kamanina@uni-dubna.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0001-9186-8689>

How to cite this article

Kamanina I.Z., Kaplina S.P., Gustova M.V., Chigoeva
D.N., Vinogradov I.I. Analysis of atmospheric
deposition in the territory of the Republic of North
Ossetia-Alania by biomonitoring data. *South of
Russia: ecology, development*. 2023, vol. 18, no. 1,
pp. 157-168. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-
1098-2023-1-157-168

Received 18 May 2022

Revised 19 July 2022

Accepted 5 September 2022

Abstract

Attention to the tourism potential of the Republic of North Ossetia-Alania is increasing with the attendant need to monitor and control atmospheric air pollution.

Aim. The assessment of the possibility of using mosses as biomonitors for determining the content of heavy metals and other trace elements in the atmosphere of the territory of the Republic of North Ossetia-Alania.

Material and Methods. The green mosses *Hylocomium splendens* and *Pleurozium schreberi* were used as bioindicators. Multi-element chemical analysis of mosses was carried out using X-ray fluorescence and the morphology and composition of dust fallouts on the moss surfaces was studied using a scanning electron microscope equipped with an X-ray energy-dispersive spectrometer.

Results. The maximum concentration of Pb, Zn, Cr, As, Sn, Sb, Ba, Cd, Cu, Ti, Ce, As, Fe, Sr is observed in mosses in areas of the territory with a high aerotechnogenic load. The analysis of biomonitor moss in the area of the Fiagdonna tailing dump indicates that recultivation measures had been effective. Toxic elements fall on moss surface in form of fine particles as large as 1 micron and pose a danger to human health.

Conclusions. The abnormally high content of Zn, Pb, Cd, Cu, Ce, As, Fe, Sr, Ti, Ba in the composition of biomonitor mosses was registered in the zone of influence of mining and processing enterprises (in the area of the Unal tailings dump) and metallurgical industries in Vladikavkaz (JSC Electro zinc and JSC Pobedit). The base source of toxic elements was determined to be fine aerotechnogenic particles that accumulate on the surface of mosses, thus confirming the high efficiency of their use for monitoring. The territory near the village of Dur Dur can be recommended as a background for ecological and geochemical research.

Key Words

Heavy metals, air pollution, biomonitoring, tailing dump, moss, North Ossetia.

ВВЕДЕНИЕ

По официальным данным в 40 субъектах Российской Федерации более 54 процентов городского населения находится под воздействием высокого и очень высокого уровня загрязнения атмосферного воздуха [1. с. 52]. В составе городских поселений Республики Северная Осетия-Алания (РСО-Алания) один крупный город – Владикавказ, пять малых городов (Беслан, Моздок, Алагир, Ардон, Дигора) и 7 поселков городского типа (Мизур, Верхний Фиагдон, Бурон, Садон, Верхний Згид, Холст, Заводской). Плотность городских поселений – 16,2/10 тыс. км² [2]. Основной вклад в загрязнение атмосферного воздуха в республике вносят стационарные источники г. Владикавказ, их доля в 2017 г. составила 64% (2,448 тыс. тонн) от суммарного выброса в атмосферный воздух всеми стационарными источниками республики, в том числе 45% (0,247 тыс. тонн) выброшенных твердых веществ [3]. На станциях Росгидромета число определяемых токсичных элементов в составе атмосферного воздуха сильно ограничено и включает, как правило, тяжелые металлы (Pb, Zn, Cd, Cu). В настоящее время существует потребность в контроле загрязнения атмосферного воздуха, в том числе многоэлементном анализе поступающих загрязнений.

Главным источником техногенного воздействия в РСО-Алания являются объекты накопленного экологического вреда прошлой хозяйственной деятельности горнодобывающей и горноперерабатывающей промышленности. В первую очередь хвостохранилища Фиагдонской и Мизурской обогатительных фабрик, а также отвалы отходов ОАО «Электроцинк». В республике на площади 250 га складировано порядка 10 млн. тонн металлосодержащих хвостов [2; 3]. Особую опасность представляют их тонкодисперсные фракции, которые разносятся на большие расстояния. Унальское и Фиагдонское хвостохранилища располагаются в долинах рек, и могут быть источниками экологической опасности даже после их рекультивации. Большинство из элементов, присутствующих в составе хвостов относятся к высокотоксичным и токсичным [4; 5]. Вместе с тем регион обладает огромным потенциалом для развития санаторно-курортного направления и горного туризма, что особенно актуально в связи с созданием альтернативы выездному туризму в рамках программы импортозамещения [6; 7]. В современных реалиях одним из условий устойчивого социально-экономического развития региона является обеспечение благоприятного состояния окружающей среды [6], а значит особо ценным становится наличие экологической информации.

В практике экологических исследований широко используется метод биомониторинга с использованием мхов [8–10]. Применение данного метода особо эффективно при изучении территорий, на которых отсутствуют станции мониторинга атмосферного воздуха Росгидромета. Наиболее часто для исследования атмосферных выпадений тяжелых металлов используют мхи *Hylocomium splendens*, *Pleurozium schreberi*, *Hypnum cupressiforme*. Несмотря на имеющиеся межвидовые различия в накоплении мхами элементов из атмосферных выпадений ими можно

пренебречь в случае изучения атмосферных загрязнений [8].

Цель настоящей работы – оценка возможности использования мхов в качестве биомониторов на территории РСО-Алания для определения тяжелых металлов и других следовых элементов, поступающих с атмосферными выпадениями.

ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования являлась территория Республики Северная Осетия-Алания на которой было выбрано 9 ключевых участков (рис. 1), испытывающих техногенное загрязнение и чистых горных районах, и отобраны образцы зеленых мхов *Hylocomium splendens* и *Pleurozium schreberi*. Мхи были собраны в соответствии с общепринятой методикой [9] в 2017 году. Образцы отбирались не менее чем в 300 м от основных дорог и населенных пунктов на открытых участках с площадок 50 м × 50 м. Для анализа были взяты трехлетние приросты мха. Образцы мха высушивали, предварительно очистив от посторонних примесей. Необходимо отметить, что исследования проходили до проведения работ по рекультивации Унальского хвостохранилища.

Аналитические определения были выполнены в Объединённом институте ядерных исследований (ОИЯИ) в Лаборатории ядерных реакций им. Г.Н. Флерова (ЛЯР ОИЯИ) г. Дубна Московской области. Многоэлементный химический анализ мхов проводили с помощью рентгенофлуоресцентного метода (РФА). Метод РФА активно используется при ведении экологического мониторинга различных компонентов окружающей среды, в том числе биомониторинга. Рентгеновские спектры образца измерялись с помощью стандартного спектрометра фирмы Canberra. Для возбуждения рентгеновского излучения использовались радиоизотопные источники ¹⁰⁹Cd ($E = 22,16$ кэВ, $T_{1/2} = 453$ дня, общей активностью 1,11 Гбк) и ²⁴¹Am ($E = 59,6$ кэВ, $T_{1/2} = 458$ лет, общей активностью 27,3 Гбк). Характеристическое рентгеновское излучение регистрировалось полупроводниковым Si(Li) детектором с разрешением 145 эВ на линии K α Fe (6,4 кэВ). Время измерения варьировалось от 150 с до 1800 с. Обработка спектров проводилась с помощью программного обеспечения для рентгенофлуоресцентного анализа WinAxil Canberra. Для определения содержания элементов в образцах мхов была использована методика одновременного определения в насыщенном слое вещества всех элементов, возбуждаемых радиоизотопным источником, по единой калибровочной кривой [12]. При построении калибровочной кривой использовались стандартные образцы близкие по матричным эффектам к анализируемым образцам (IAEA-336 (лишайник), IAEA-140 (морские водоросли), СБМТ-02 (злаковая травосмесь), IAEA-359 (капуста), NBS 1575a (хвоя сосны) и др.).

В образцах мха было определено содержание 30 химических элементов (K, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Se, Br, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Cd, Sn, Sb, I, Cs, Ba, La, Ce, Nd, Pb, Th, U), в том числе токсичных (As, Zn, Pb, Cd др.).

Для изучения морфологии и состава пылевых выпадений поверхность мха была изучена при помощи растрового электронного микроскопа Hitachi S-3400N с рентгеновским анализатором.

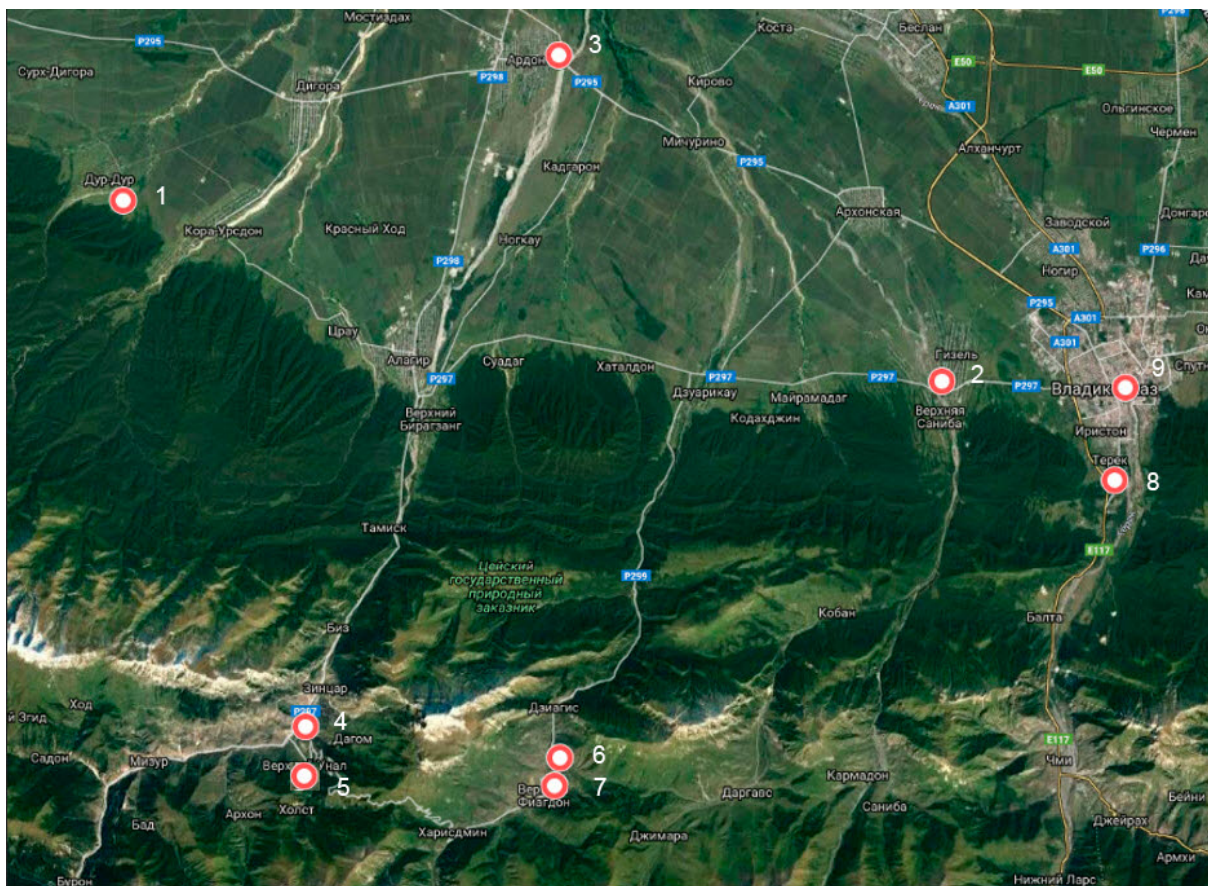


Рисунок 1. Расположение точек пробоотбора мхов: 1 – с. Дур-Дур (43.119015 с.ш., 44.044003 в.д.); 2 – с. Гизель (43.028546 с.ш., 44.562243 в.д.); 3 – г. п. Ардон (34.18083 с.ш., 44.31666 в.д.); 4 – Унальское хвостохранилище (42.867108 с.ш., 44.154969 в.д.); 5 – штольня №43 месторождения Холст (42.847203 с.ш., 44.151518 в.д.); 6 – Фиэгдонское хвостохранилище (42.83916 с.ш., 44.31416 в.д.); 7 – п. Верхний Фиэгдон (42.832100 с.ш., 44.305841 в.д.); 8 – г. Владикавказ, парк Дендрарий (42.982696 с.ш., 44.672347 в.д.); 9 – г. Владикавказ, ЦПКИО им. К.Л. Хетагурова (43.025494 с.ш., 44.679122 в.д.)

Figure 1. Location of moss sampling points: 1 – the village of Dur-Dur (43.119015 N, 44.044003 E N, 44.562243 E); 3 – the urban settlement of Ardon (34.18083 N, 44.31666 E); 4 – the Unal tailing dump (42.867108 N, 44.154969 E); 5 – mine No. 43 of the Holst field (42.847203 N, 44.151518 E); 6 – Fiagdon tailing dump (42.83916 N, 44.31416 E); 7 – Verkhny Fiagdon settlement (42.832100 N, 44.305841 E); 8 – Arboretum Park, Vladikavkaz (42.982696 N, 44.672347 E); 9 – K.L. Khetagurov Central Park, Vladikavkaz (43.025494 N, 44.679122 E)

ПОЛУЧЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате исследования были получены данные по содержанию петрогенных элементов (Ti, Fe, Ca, K, Mn), приоритетных загрязнителей горнодобывающей и горноперерабатывающей промышленности республики (Pb, Zn, As, Cu, Ni и др.), а также высоко опасных загрязнителей атмосферного воздуха (Cd, Pb, As, Ni, Se и др.) (табл. 1).

Концентрация **свинца** в исследованных образцах мха колеблется в широком диапазоне от 19 до 1380 мг/кг (табл. 1). Средняя концентрация в районе исследования составляет 230 мг/кг. Максимальная концентрация обнаружена в образце № 4, отобранном в непосредственной близости от Унальского хвостохранилища в Алагирском районе и составляет 1380 мг/кг, что в 72,6 раза выше минимального значения, обнаруженного в образце, в районе села Дур Дур Дигорского муниципального района. Достаточно высокая концентрация 323 мг/кг, что в 17 раз выше

минимального значения в районе исследования, отмечается в образце №9, отобранном в Центральном парке культуры и отдыха им. К.Л. Хетагурова г. Владикавказ. При этом в образце №8, отобранном к югу от образца №9 в парке Дендрарий г. Владикавказ, отмечается заметное снижение (в 4 раза) концентрации до 78 мг/кг. В образцах мха, отобранных на окраинах села Гизель Пригородного района, поселка Верхний Фиэгдон Ардонского района, недалеко от штольни 43 Холстинского месторождения в Алагирском районе и на поверхности рекультивированного участка Фиэгдонского хвостохранилища, содержание свинца колеблется незначительно от 47 до 68 мг/кг, что 2,6–3,6 раза выше минимальных значений. Еще более низкая концентрация всего в 1,7 раз выше минимального значения выявлена в образце №3, отобранном на окраине городского поселения Ардон Ардонского района. Класс опасности Pb для воздуха – 1, для почв – 1.

Таблица 1. Результаты рентгенофлуоресцентного анализа образцов мха, мг/кг
Table 1. Results of X-ray fluorescence analysis of moss samples, mg/kg

| Элемент Element | Точки отбора проб / Sampling points | | | | | | | | | | Грузия / Georgia [7] | |
|--------------------|-------------------------------------|------------|-------------|-------------|------------|-------------|------------|------------|-------------|-------------------|----------------------|--|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | Среднее / Average | | |
| K | 5700 ± 500 | 5300 ± 500 | 5900 ± 500 | 5900 ± 500 | 4600 ± 400 | 4000 ± 500 | 4700 ± 500 | 9400 ± 60 | 13400 ± 900 | 5967 ± 1862 | | |
| Ca | 12100 ± 300 | 8200 ± 300 | 11000 ± 300 | 32600 ± 500 | 7000 ± 300 | 10300 ± 300 | 8100 ± 300 | 9000 ± 30 | 12900 ± 60 | 8831 ± 2882 | | |
| Ti | 230 ± 80 | 3640 ± 90 | 430 ± 80 | 1320 ± 110 | 110 ± 70 | 430 ± 90 | 770 ± 90 | 2980 ± 100 | 2000 ± 170 | 458 ± 338 | | |
| Cr | ≤ 30 | ≤ 30 | ≤ 30 | 60 ± 30 | ≤ 30 | ≤ 30 | ≤ 30 | ≤ 30 | ≤ 30 | 10.16 ± 6.57 | | |
| Mn | 100 ± 20 | 140 ± 20 | 140 ± 20 | 210 ± 20 | ≤ 20 | 100 ± 20 | 160 ± 20 | 180 ± 20 | 460 ± 40 | 238 ± 366 | | |
| Fe | 1570 ± 20 | 4680 ± 30 | 3430 ± 20 | 6200 ± 30 | 1450 ± 20 | 2990 ± 20 | 3410 ± 40 | 5390 ± 60 | 17440 ± 120 | 3631 ± 2599 | | |
| Ni | ≤ 6 | 10 ± 6 | ≤ 6 | 20 ± 6 | ≤ 6 | ≤ 6 | ≤ 6 | 11 ± 6 | 25 ± 6 | 6.81 ± 4.07 | | |
| Cu | 48 ± 5 | 42 ± 5 | 46 ± 5 | 540 ± 9 | 36 ± 5 | 45 ± 5 | 47 ± 5 | 56 ± 6 | 121 ± 10 | 7.04 ± 13.15 | | |
| Zn | 66 ± 4 | 369 ± 6 | 110 ± 4 | 1611 ± 10 | 108 ± 4 | 144 ± 5 | 119 ± 5 | 581 ± 7 | 2303 ± 15 | 31.57 ± 12.96 | | |
| As | ≤ 5 | ≤ 5 | ≤ 5 | 67 ± 14 | ≤ 5 | 15 ± 5 | 11 ± 5 | ≤ 5 | 10 ± 5 | 2.02 ± 7.56 | | |
| Se | ≤ 2 | ≤ 2 | ≤ 2 | 8 ± 2 | ≤ 2 | 4 ± 1 | ≤ 2 | 5 ± 1 | 8 ± 3 | 0.25 ± 0.13 | | |
| Br | 9 ± 1 | 5 ± 1 | 4 ± 1 | 7 ± 1 | 5 ± 1 | 5 ± 1 | 4 ± 1 | 8 ± 1 | 5 ± 1 | 6.63 ± 2.95 | | |
| Rb | 11 ± 1 | 15 ± 1 | 12 ± 1 | 10 ± 1 | 3 ± 1 | 9 ± 1 | 11 ± 1 | 18 ± 2 | 53 ± 2 | 11.63 ± 6.36 | | |
| Sr | 75 ± 1 | 35 ± 1 | 55 ± 1 | 45 ± 1 | 23 ± 1 | 33 ± 1 | 41 ± 1 | 62 ± 1 | 159 ± 2 | 50.23 ± 25.19 | | |
| Y | 5 ± 2 | 9 ± 2 | 4 ± 2 | 6 ± 1 | ≤ 2 | ≤ 2 | ≤ 2 | 10 ± 3 | 25 ± 4 | - | | |
| Zr | 5 ± 1 | 18 ± 1 | 12 ± 1 | 15 ± 1 | 5 ± 1 | 10 ± 1 | 11 ± 1 | 28 ± 1 | 105 ± 2 | 13.05 ± 10.7 | | |
| Nb | ≤ 2 | ≤ 2 | ≤ 2 | ≤ 2 | ≤ 2 | ≤ 2 | ≤ 2 | ≤ 2 | 5 ± 2 | - | | |
| Mo | ≤ 1 | ≤ 1 | ≤ 2 | ≤ 1 | ≤ 1 | ≤ 1 | ≤ 1 | ≤ 1 | ≤ 1 | 0.42 ± 0.27 | | |
| Cd | ≤ 1 | 10 ± 1 | 4 ± 2 | 23 ± 2 | 3 ± 1 | ≤ 1 | 5 ± 1 | 7 ± 1 | 34 ± 1 | 0.18 ± 0.12 | | |
| Sn | ≤ 1 | 6 ± 1 | 6 ± 1 | 619 ± 2 | 15 ± 1 | ≤ 1 | ≤ 1 | 8 ± 1 | 27 ± 2 | - | | |
| Sb | ≤ 1 | 4 ± 1 | 4 ± 1 | 320 ± 3 | 80 ± 1 | 3 ± 1 | 3 ± 1 | 5 ± 1 | 10 ± 1 | 0.20 ± 0.16 | | |
| I | 7 ± 1 | ≤ 2 | ≤ 2 | ≤ 2 | ≤ 2 | ≤ 2 | ≤ 2 | ≤ 2 | 5 ± 1 | 2.90 ± 1.99 | | |
| Cs | ≤ 2 | ≤ 2 | ≤ 2 | ≤ 2 | ≤ 2 | ≤ 2 | ≤ 2 | ≤ 2 | ≤ 2 | 0.49 ± 0.35 | | |
| Ba | 192 ± 1 | 70 ± 1 | 83 ± 1 | 257 ± 1 | 48 ± 1 | 50 ± 1 | 48 ± 1 | 177 ± 1 | 297 ± 1 | 69.95 ± 57.56 | | |
| La | 4 ± 1 | 3 ± 1 | 3 ± 1 | 8 ± 1 | ≤ 1 | ≤ 1 | 4 ± 1 | 9 ± 1 | 11 ± 1 | 2.82 ± 2.11 | | |
| Ce | 6 ± 2 | 9 ± 2 | 9 ± 2 | 14 ± 2 | 5 ± 2 | 7 ± 2 | 4 ± 2 | 12 ± 2 | 26 ± 1 | 5.02 ± 3.79 | | |
| Nd | 6 ± 1 | 10 ± 1 | 10 ± 2 | 14 ± 2 | 9 ± 1 | ≤ 2 | ≤ 2 | 14 ± 2 | 24 ± 2 | 2.75 ± 2.11 | | |
| Pb | 19 ± 2 | 68 ± 2 | 32 ± 2 | 1380 ± 20 | 64 ± 2 | 57 ± 5 | 47 ± 4 | 78 ± 3 | 323 ± 5 | 5.46 ± 3.23 | | |
| Th | 4 ± 1 | ≤ 1 | 4 ± 1 | 3 ± 1 | ≤ 1 | ≤ 1 | ≤ 1 | 3 ± 1 | 3 ± 1 | - | | |
| U | ≤ 1 | ≤ 1 | ≤ 1 | ≤ 1 | ≤ 1 | ≤ 1 | ≤ 1 | ≤ 1 | ≤ 1 | - | | |

Примечание: «—» – нет данных
Note: «—» – no data available

В исследованных образцах мха концентрация **цинка** колеблется в широких пределах от 66 до 2303 мг/кг (табл. 1). Средняя концентрация в районе исследования составляет 601 мг/кг. Максимальная концентрация отмечается в образце №9, отобранном в Центральном парке культуры и отдыха им. К.Л. Хетагурова г. Владикавказ, и составляет 2303 мг/кг, что почти в 35 выше минимального значения, обнаруженного в образце, отобранном в районе села Дур Дур Дигорского муниципального района. Высокая концентрация цинка (1611 мг/кг, что 24 раза выше минимального значения) обнаружена в образце №4, отобранном в непосредственной близости от Унальского хвостохранилища. Достаточно высокие концентрации цинка выявлены в образцах №8, отобранном в парке Дендрарий г. Владикавказ (581 мг/кг) и №2, отобранном на окраине села Гизель Пригородного муниципального района (369 мг/кг), что выше минимального значения в 8,8 и 5,6 раза соответственно. В образцах мха, отобранных на окраинах городского поселения Ардон, поселка Верхний Фиагдон, недалеко от штольни 43 Холстинского месторождения в Алагирском районе и на поверхности рекультивированного участка Фиагдонского хвостохранилища, концентрация цинка колеблется не значительно (108–144 мг/кг) на уровне 2–2,5 раза выше минимального значения. Класс опасности Zn для воздуха – 2 (цинк сульфат) и 3 (цинк оксид), для почв – 1.

Концентрация **кадмия** в исследованных образцах мха колеблется в широком диапазоне от 3 до 34 мг/кг (табл. 1). Средняя концентрация в районе исследования составляет 12,3 мг/кг. Максимальная концентрация отмечается в образце №9, отобранном в Центральном парке культуры и отдыха им. К.Л. Хетагурова г. Владикавказ, при этом в образце №8, парк Дендрарий в г. Владикавказ отмечается заметное снижение (в 5 раз) концентрации до 7 мг/кг. Высокое содержание кадмия обнаружено в образце №4, отобранном в непосредственной близости от Унальского хвостохранилища в Алагирском районе, и составляет 23 мг/кг. В пробах, отобранных на окраинах села Гизель Пригородного района, городского поселения Ардон и поселка Верхний Фиагдон Ардонского района, а также недалеко от штольни 43 Холстинского месторождения в Алагирском районе, концентрация кадмия колеблется от 3 до 10 мг/кг. В образцах, отобранных в районе села Дур Дур Дигорского муниципального района и на поверхности рекультивированного участка Фиагдонского хвостохранилища, концентрация кадмия незначительна и составляет менее 1 мг/кг. Класс опасности Cd для воздуха – 1, для почв – 1.

В исследованных образцах мха концентрация **меди** колеблется в широких пределах от 36 до 540 мг/кг (табл. 1). Средняя концентрация в районе исследования составляет 109 мг/кг. Максимальная концентрация отмечается в образце №4, отобранном в непосредственной близости от Унальского хвостохранилища в Алагирском районе и составляет 540 мг/кг, что в 15 раз выше минимального значения. Высокое содержание меди отмечено в образце №9, отобранном в Центральном парке культуры и отдыха им. К.Л. Хетагурова г. Владикавказ, и составляет 121 мг/кг, что в 3,3 раза выше минимального значения, при этом в образце №8, отобранном в парке Дендрарий в г. Владикавказ, отмечается снижение (в 2 раза)

концентрации до 56 мг/кг. В пробах, отобранных на окраинах села Дур Дур Дигорского муниципального района, села Гизель Пригородного района, городского поселения Ардон и поселка Верхний Фиагдон Ардонского района, а также образце мха, отобранном на поверхности рекультивированного участка Фиагдонского хвостохранилища, содержание меди колеблется в пределах от 42 до 48 мг/кг, что незначительно выше минимальных значений. Класс опасности Cu для воздуха – 2, для почв – 2.

Концентрация **никеля** в исследованных образцах мха составляет от 11 до 25 мг/кг (табл. 1). Среднее содержание в районе исследования составляет 16,5 мг/кг. Анализ данных показал, что содержание никеля в образцах, отобранных в районе населённых пунктов Дур Дур, Ардон, Фиагдон, а также на рекультивированной части Фиагдонского хвостохранилища, менее 6 мг/кг. Максимальная концентрация никеля (25 мг/кг) обнаружена в образце, отобранном в Центральном парке культуры и отдыха им. К.Л. Хетагурова г. Владикавказ, также повышенная концентрация (20 мг/кг) наблюдается в образце, отобранном в непосредственной близости от Унальского хвостохранилища. Класс опасности Ni для воздуха – 2, для почв – 2.

Таким образом, максимальные концентрации Zn, Cd и Ni обнаружены в образце №9, отобранном в Центральном парке культуры и отдыха им. К.Л. Хетагурова г. Владикавказ, а Pb и Cu в образце №4, отобранном в непосредственной близости от Унальского хвостохранилища в Алагирском районе. Самым чистым из исследованных образцов является образец №1, отобранный на окраинах села Дур Дур Дигорского муниципального района.

На рисунках 2, 3 представлены рентгеновские спектры образца мха пробы №4, на рисунках 4, 5 – пробы №9.

Анализ данных показал, что **мышьяк** обнаруживается в четырех образцах. Высокое содержание мышьяка 68 мг/кг обнаружено в образце №4, отобранном в непосредственной близости от Унальского хвостохранилища в Алагирском районе. В остальных пробах концентрация значительно ниже. В образце №6, отобранном на поверхности рекультивированного участка Фиагдонского хвостохранилища, содержание мышьяка составляет 15 мг/кг, в образце №7, отобранном на окраине поселка Верхний Фиагдон Ардонского района – 11 мг/кг, образце №9, отобранном в Центральном парке культуры и отдыха им. К.Л. Хетагурова г. Владикавказ – 10 мг/кг. Класс опасности As для воздуха – 1, для почв – 1.

Олово, обнаружено в очень высокой концентрации (619 мг/кг) в образце №4, отобранном в непосредственной близости от Унальского хвостохранилища в Алагирском районе. Повышенные концентрации также обнаружены в образцах №9 (Центральный парк культуры и отдыха им. К.Л. Хетагурова г. Владикавказ), и №5 (в районе штольни 43 Холстинского месторождения в Алагирском районе), и составляют 27 мг/кг и 15 мг/кг соответственно. Класс опасности Sn для воздуха – 3, для почв – не определен.

Сурьма, обнаружена в очень высокой концентрации (320 мг/кг) в образце №4, отобранном в Алагирском районе в непосредственной близости от Унальского хвостохранилища. Повышенная концент-

рация сурьмы (80 мг/кг) обнаружена и в образце №5, отобранном недалеко от штольни 43 Холстинского месторождения. В образце №9, отобранном в Центральном парке культуры и отдыха им. К.Л. Хетагурова г. Владикавказ, концентрация сурьмы составляет 10 мг/кг. Класс опасности Sb для воздуха – 3, для почв – 2.

Ранее авторами было показано [5], что в отходах горно-обогатительных фабрик происходит концентрирование редких металлов, таких как In, Te, Se, V, U, Ta, Mo, Cs. Содержание In, Te, Se в составе отходов Мизурской горно-обогатительной фабрики превышает кларковые значения более чем в сотни и тысячи раз.

Анализ мхов показал, что содержание **селена** составляет от 4 до 8 мг/кг. Максимальные концентрации селена были выявлены в образцах мха №№4 и 9, отобранных в непосредственной близости от Унальского хвостохранилища в Алагирском районе и в Центральном парке культуры и отдыха им. К.Л. Хетагурова г. Владикавказ. Класс опасности Se для воздуха – 1, для почв – 1.

Содержание **циркония** в образцах мха варьирует в широких пределах от 5 до 105 мг/кг. Максимальная концентрация циркония в 21 раз превышающая минимальное значение, обнаружена в образце №9, отобранном в Центральном парке культуры и отдыха им. К.Л. Хетагурова г. Владикавказ. В образце №8, отобранном в парке Дендрарий г. Владикавказ, отмечается снижение (в 3,8 раза) концентрации до 28 мг/кг. Относительно повышенное содержание циркония обнаружено в образцах №2, отобранном на окраине села Гизель Пригородного района и №4, в непосредственной близости от Унальского хвостохранилища в Алагирском районе. Концентрация циркония составляет 18 и 15 мг/кг

соответственно, что в 3,6 и 3 раза превышает минимальное значение.

Содержание **лантана** в образцах мха варьирует от 3 до 11 мг/кг. Максимальная концентрация обнаружена в образце №9, отобранном в Центральном парке культуры и отдыха им. К.Л. Хетагурова г. Владикавказ, и в 3,6 раза превышает минимальное значение. В образце №8, отобранном к югу от образца №9 в парке Дендрарий г. Владикавказ, отмечается незначительное снижение концентрации до 9 мг/кг. Относительно повышенное содержание лантана (8 мг/кг, что в 2,7 раза выше минимального значения) выявлено в образце №4, отобранном в непосредственной близости от Унальского хвостохранилища в Алагирском районе.

Содержание **рубидия** в образцах мха варьирует в широких пределах от 3 до 53 мг/кг. Максимальное значение выявлено в образце №9, отобранном в Центральном парке культуры и отдыха им. К.Л. Хетагурова г. Владикавказ, что в 17 раз выше минимального значения. При этом в образце №8, парк Дендрарий г. Владикавказ, отмечается снижение (в 3 раза) концентрации до 18 мг/кг. В остальных образцах мха концентрация рубидия от 9 до 15 мг/кг. В образце №4, отобранном в непосредственной близости от Унальского хвостохранилища в Алагирском районе, концентрация рубидия составляет 10 мг/кг.

Максимальная концентрация **иттрия** составляет 25 мг/кг, что в 6 раз меньше минимального значения и обнаружена также в образце №9, отобранном в Центральном парке культуры и отдыха им. К.Л. Хетагурова г. Владикавказ. В образце №8, отобранном к югу от образца №9 в г.Владикавказ, отмечается снижение (в 2,5 раза) концентрации до 10 мг/кг.

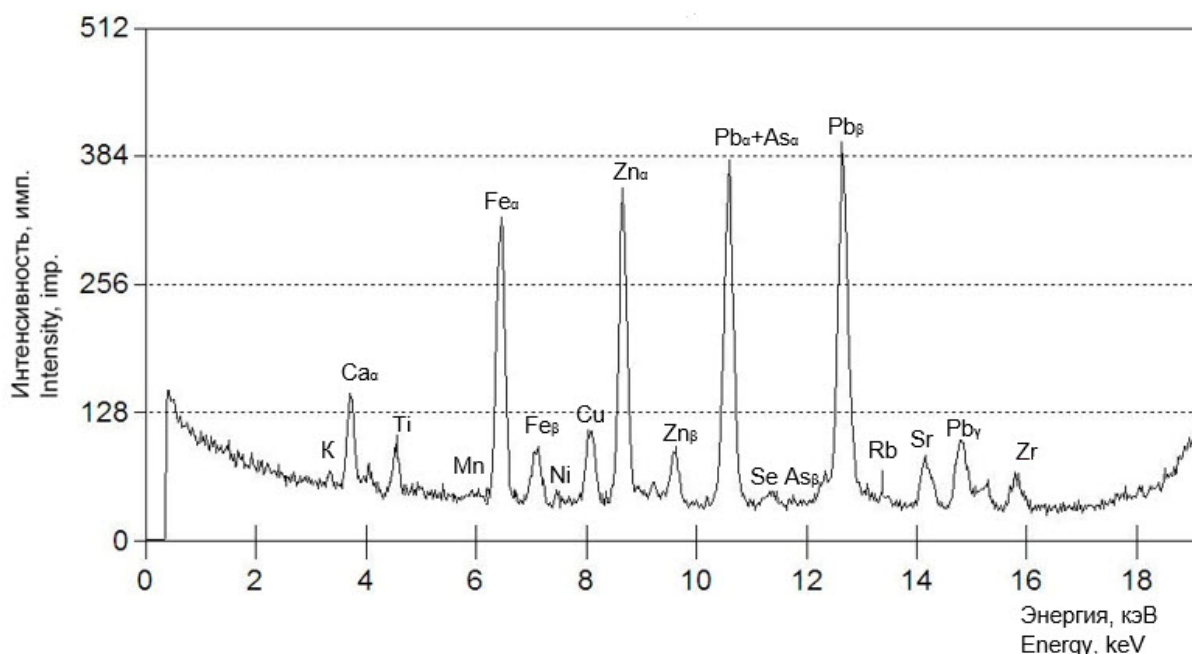


Рисунок 2. Рентгеновский спектр образца мха пробы № 4 (район Унальского хвостохранилища), источник возбуждения ^{109}Cd , $t_{\text{изм.}} = 150$ с

Figure 2. XRF spectrum of moss sample no. 4 (the area near the Unalsky tailing dump), ^{109}Cd source X-ray excitation, $t_{\text{изм.}} = 150$ s

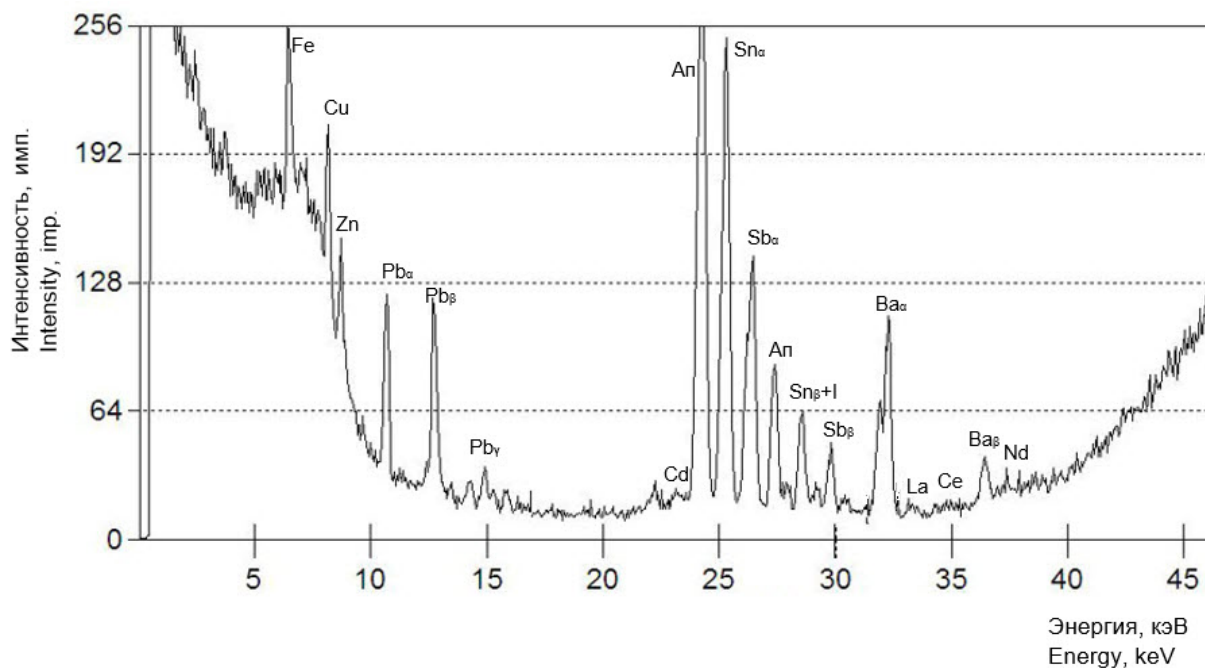


Рисунок 3. Рентгеновский спектр образца мха пробы № 4 (район Унальского хвостохранилища), источник возбуждения ^{241}Am , $t_{\text{изм.}} = 1800$ с (АП – аппаратный пик)

Figure 3. XRF spectrum of moss sample no. 4 (the area near the Unalsky tailing dump), ^{241}Am source X-ray excitation, $t_{\text{изм.}} = 1800$ s (HP – hardware peak)

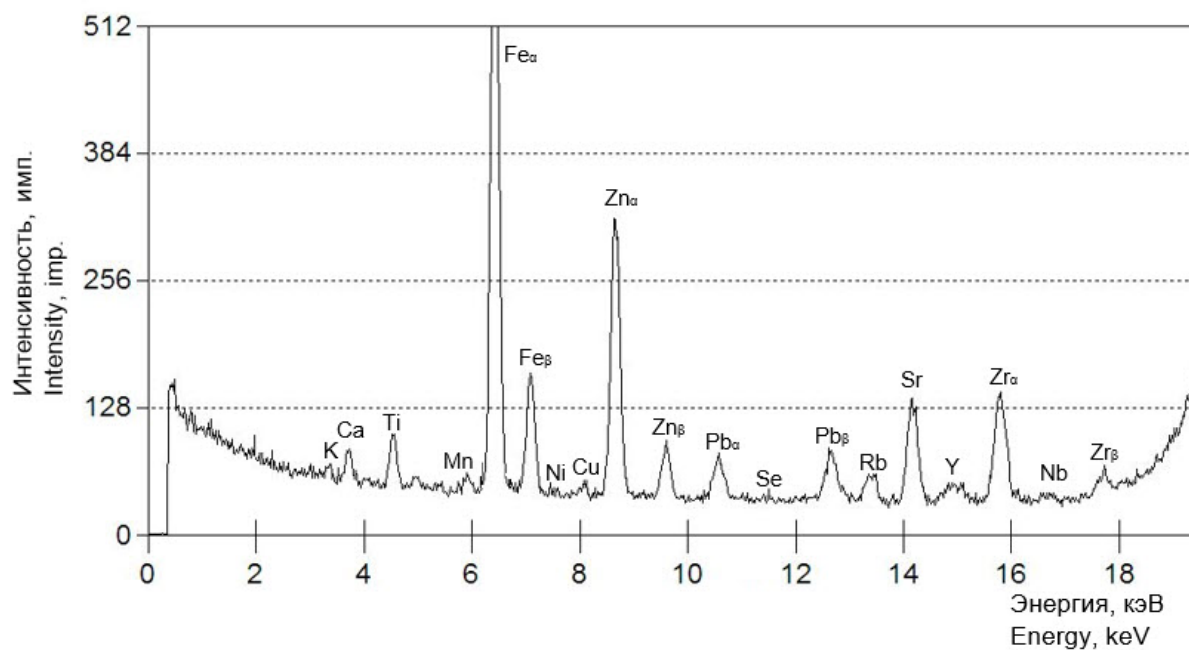


Рисунок 4. Рентгеновский спектр образца мха пробы № 9 (Центральный парк культуры и отдыха им. К.Л.Хетагурова, Владикавказ), источник возбуждения ^{109}Cd , $t_{\text{изм.}} = 150$ с

Figure 4. XRF spectrum of moss sample no. 9 (K.L. Khetagurov Central Park of Culture and Rest, Vladikavkaz), ^{109}Cd source X-ray excitation, $t_{\text{изм.}} = 150$ s

Концентрация **церия** в пробах мха варьирует от 4 до 26 мг/кг. Максимальная концентрация обнаружена в образце №9, отобранном в Центральном парке культуры и отдыха им. К.Л. Хетагурова г. Владикавказ, и в 6,5 раз превышает минимальное значение. В образце №8, отобранном в парке Дендрарий г. Владикавказ, отмечается снижение концентрации до 12 мг/кг. Относительно повышенное содержание церия (14 мг/кг, что в 3,5 раз выше минимального значения) выявлено в образце №4, отобранном в непосредственной близости от Унальского хвостохранилища в Алагирском районе.

Как показали исследования, минимальные содержания определяемых элементов во мхах отмечаются в районе села Дур Дур Дигорского муниципального района, что свидетельствует о низком уровне аэротехногенной нагрузки. По результатам анализа резко выделяются две пробы, где содержание исследованных элементов значительно превышает их содержание в остальных образцах мха. Это образец №4, отобранный в

непосредственной близости от Унальского хвостохранилища, используемого в течении многих лет для складирования отходов переработки свинцово-цинковых руд и образец №9, отобранный в Центральном парке культуры и отдыха им. К.Л. Хетагурова г. Владикавказ.

Высокие концентрации элементов (Pb, Zn, Cr, As, Sn, Sb, Ba, Cd, Cu, Ti, Ce, As, Fe, Sr) в образце мха №4 обусловлены дефляционными процессами, которые развивались в сухой части пляжной зоны Унальского хвостохранилища до его рекультивации и являлись основной причиной загрязнения прилегающей территории. Содержание Cd, Pb, Ce в составе хвостов превышает их кларки в земной коре в тысячи раз, Zn, As, Cu в сотни раз, что было показано авторами в работах [4; 5]. На расстоянии более 2 км от сбора образца №4, в районе штольни 43 Холстинского месторождения влияние хвостохранилища не отмечается, содержание Cr, Mn, Ni, Cu, As, Se, Cd, Ba не превышает минимальных значений для исследованных мхов, содержание Zn и Pb выше

минимальных значений (с. Дур Дур), но ниже, чем в районе других населенных пунктов республики.

Основными источниками загрязнения атмосферного воздуха во Владикавказе являются предприятия цветной металлургии ОАО «Электроцинк» и ОАО «Победит», которые расположены в центральной части города. В составе выбросов этих предприятий присутствуют соединения Cd, Pb, Cu, As, Zn, Mn и др. Аномально высокое содержание Zn, Cd, Pb, Cr, Fe Ti выявлено в образце №9 (Центральный парк культуры и отдыха им. К.Л. Хетагурова). Влияние предприятий цветной металлургии отмечается также и на территории парка Дендрарий (образец №8), хотя и в значительно меньшей степени.

Анализ мхов-биоиндикаторов, собранных на рекультивированной части Фиагдонского хвостохранилища и в районе поселка Фиагдон свидетельствует об эффективности рекультивационных мероприятий и отсутствии аэротехногенной нагрузки со стороны хвостохранилища.

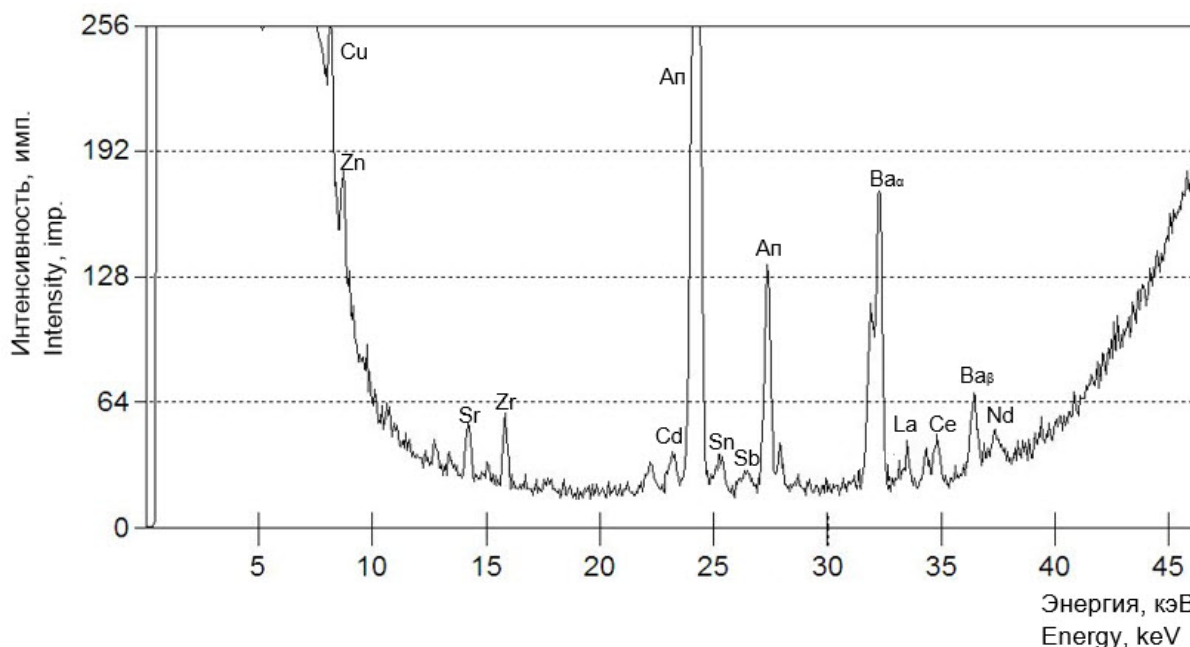
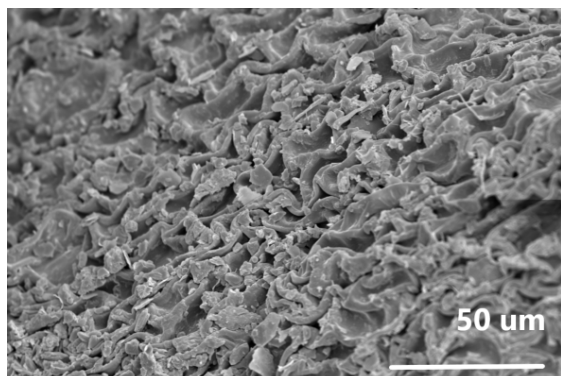


Рисунок 5. Рентгеновский спектр образца мха пробы № 9 (Центральный парк культуры и отдыха им. К.Л. Хетагурова, Владикавказ), источник возбуждения ^{241}Am , $t_{\text{изм.}} = 1800$ с (АП – аппаратный пик)
Figure 5. XRF spectrum of moss sample no. 9 (K.L. Khrtagurov Central Park of Culture and Rest, Vladikavkaz), ^{241}Am source X-ray excitation, $t_{\text{изм.}} = 1800$ s (HP – hardware peak)

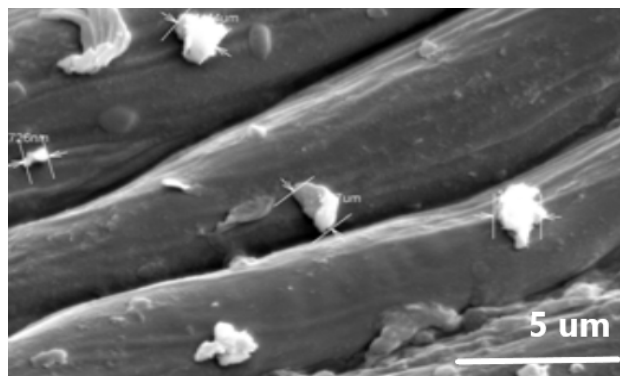
Биомониторинг с помощью мхов проводился на территории Кавказского региона [8]. Сравнительный анализ среднего содержания элементов во мхах РСО-Алания с результатами, полученными для Грузии показали значительное накопление во мхах РСО-Алания элементов: Zn, Pb, Cd, Cu, Ce, As, Fe, Sr, Ti, Ba, многие из которых являются приоритетными высокотоксичными загрязнителями атмосферного воздуха. В первую очередь это связано с аномально высоким содержанием загрязнителей во мхах в зоне влияния предприятий горно-перерабатывающей и металлургической промышленности республики. Максимальное содержание во мхах РСО-Алания превышает максимальные значения, отмеченные во мхах на территории Грузии для цинка в 270 раз, свинца в 72 раз, кадмия в 58 раз, меди в 4 раза.

Результаты исследований поверхности мха с помощью растрового электронного микроскопа (РЭМ) Hitachi S-3400N, оснащенного рентгеновским энергодисперсионным спектрометром (EDS Oxford Instruments Aztec) показали, что токсичные элементы оседают на поверхность мха в составе тонкодисперсных частиц, размером до 10 мкм, значительная часть которых имеет размерность менее 1 мкм (рис. 6). Находясь в атмосферном воздухе такие частицы представляют серьезную опасность для человека. Частицы меньше 1 мкм могут проникать в зону легких, отвечающую за газообмен, попадать в кровь и вызывать интоксикацию химическими соединениями, адсорбированными на их поверхности.



а) аэротехногенные образования на поверхности мха (Центральный парк культуры и отдыха им. К.Л. Хетагурова, Владикавказ)

a) aerotechnogenic formations on the moss surface (K.L. Khetagurov Central Park of Culture and Rest, Vladikavkaz)



б) частицы пыли на поверхности мха, содержащие свинец (парк Дендрарий, Владикавказ)

b) dust particles on the surface of moss containing lead (Arboretum Park, Vladikavkaz)

Рисунок 6. Поверхность мхов-биомониторов, полученных при помощи растрового электронного микроскопа Hitachi s-3400N

Figure 6. Surface of moss-biomonitors obtained using a scanning electron microscope Hitachi s-3400N

ВЫВОДЫ

1. Аномально высокое содержание Zn, Pb, Cd, Cu, Ce, As, Fe, Sr, Ti, Ba в составе мхов-биомониторов отмечается в зоне влияния предприятий горно-перерабатывающей (в районе Унальского хвостохранилища) и металлургической (ОАО «Электроцинк» и ОАО «Победит» в г. Владикавказ) промышленности.
2. Высокие концентрации токсичных веществ обусловлены аэротехногенными тонкодисперсными частицами, аккумулированными на поверхности мха. Находясь в атмосферном воздухе такие частицы представляют серьезную опасность для человека.
3. Самым чистым из исследованных образцов является образец №1, отобранный на окраинах села Дур Дур Дигорского муниципального района. Эта территория может рассматриваться как фоновая для эколого-геохимических исследований.
4. Анализ атмосферного воздуха с помощью мхов-биомониторов показал высокую эффективность рекультивационных мероприятий в районе Фиагдонского хвостохранилища.
5. Необходимо на регулярной основе организовать наблюдение за содержанием в атмосферном воздухе г. Владикавказ свинца, цинка, кадмия, меди, никеля, бария и др. загрязнителей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Основы государственной политики в области экологического развития Российской Федерации на период до 2030 года, утв. Президентом РФ от 30.04.2012 г. URL: <http://kremlin.ru/events/president/news/15177> (дата обращения: 12.10.2021)
2. Туаева А.С., Тавасиев Г.В., Павленко В.С. Социально-экономические и экологические проблемы городских поселений республики Северная Осетия-Алания // Россия и мировое сообщество: проблемы демографии, экологии и здоровья населения: сборник статей II Международной научно-практической конференции, Пенза, 19-20 августа, 2019. С. 194–197.
3. Доклад об экологической ситуации в Республике Северная Осетия-Алания в 2017 году. Министерство природных ресурсов и экологии Северной Осетии-Алания, Владикавказ, 2018. 107 с.

4. Каманина И.З., Пухаева Н.Е., Густова М.В., Фронтасьева М.В., Чигоева Д.Н., Каплина С.П. Использование ядерно-физических методов для анализа отходов горно-обогатительной промышленности на примере Унальского хвостохранилища // Успехи современного естествознания. 2018. N 7. С. 142–150.
5. Каманина И.З., Густова М.В., Фронтасьева М.В., Пухаева Н.Е., Каплина С.П., Чигоева Д.Н. Редкие металлы в составе отходов Унальского хвостохранилища // Вестник Владикавказского научного центра. 2018. Т. 18. N 4. С. 71–75. DOI: 10.23671/VNC.2018.4.23794
6. Бероев С.Б., Хацаева Ф.М. Приоритетные направления экологического природопользования горных территорий республики Северная Осетия-Алания // Устойчивое развитие горных территорий. 2019. N 4. С. 429–435. DOI: 10.21177/1998-4502-2019-11-4-429-435
7. Бероев С.Б., Хацаева Ф.М. Современные подходы к рациональному природопользованию в Республике Северная Осетия-Алания // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Естественные науки. 2019. N 3. С. 77–87. DOI: 10.18384/2310-7189-2019-3-77-87
8. Chalgava O., Shetekauri S., Badawy W.M. et al. Characterization of Trace Elements in Atmospheric Deposition Studied by Moss Biomonitoring in Georgia // Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 2021, no. 80, pp. 350–367. DOI: 10.1007/s00244-020-00788-x
9. Shvetsova M.S., Kamanina I.Z., Frontasyeva M.V., Madadzada A.I., Zinicovscaia I.I., Pavlov S.S., Vergel K.N., Yushin N.S. Active moss biomonitoring using the «moss bag technique» in the park of Moscow // Physics of Particles and Nuclei Letters. 2019, vol. 16, no. 6, pp. 994–1003. DOI: 10.1134/S1547477119060293
10. Madadzada A.I., Badawy W.M., Hajiyeva S.R., Veliyeva Z.T., Hajiyev O.B., Shvetsova M.S., Frontasyeva M.V. Assessment of atmospheric deposition of major and trace elements using neutron activation analysis and GIS technology: Baku – Azerbaijan // Microchemical Journal. 2019. V. 147. P. 605–614. DOI: 10.1016/j.microc.2019.03.061
11. Мониторинг атмосферных выпадений тяжелых металлов, азота и стойких органических загрязнителей в Европе с использованием мохообразных. Пособие по мониторингу // Международная кооперативная программа по воздействию воздушных загрязнений на естественную и сельскохозяйственную растительность. Европейская экономическая комиссия ООН в рамках конвенции о

трансграничном переносе на большие расстояния. 2018. 32 с.

12. Стандарт предприятия СТП 104-2002. Многокомпонентный инструментальный рентгенофлуоресцентный анализ почв и других объектов окружающей среды на токсичные и сопутствующие элементы. ОИЯИ 6-8092. Дубна, 2002. 16 с.

REFERENCES

1. *Osnovy gosudarstvennoi politiki v oblasti ehkologicheskogo razvitiya Rossiiskoi Federatsii na period do 2030 goda, utv. Prezidentom RF ot 30.04.2012 g.* [Fundamentals of state policy in the field of environmental development of the Russian Federation for the period up to 2030, approved by the President of the Russian Federation of April 30, 2012] (In Russian). Available at: <http://kremlin.ru/events/president/news/15177> (accessed 12.10.2021)
2. Tuaeve A.S., Tavasiev G.V., Pavlenko V.S. Sotsial'no-ekonomicheskie i ekologicheskie problemy gorodskikh poselenii respublik Severnaya Osetiya-Alaniya. [Socio-economic and environmental problems of urban settlements of the Republic of North Ossetia-Alania]. *Rossiya i mirovye soobshchestvo: problemy demografii, ekologii i zdorov'ya naseleniya: sbornik statei II Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, Penza, 19-20 avgusta, 2019* [Russia and the world community: problems of demography, ecology and public health: a collection of articles of the II International Scientific and Practical Conference, Penza, 19–20 August, 2019]. Penza, 2019, pp. 194–197. (In Russian).
3. *Doklad ob ehkologicheskoi situatsii v Respublike Severnaya Osetiya-Alaniya v 2017 godu. Ministerstvo prirodnikh resursov i ehkologii Severnoi Osetii-Alaniya* [Report on the environmental situation in North Ossetia-Alania in 2017. Ministry of Natural Resources and Ecology of North Ossetia-Alania]. Vladikavkaz, 2018, 107 p. (In Russian)
4. Kamanina I.Z., Pukhaeva N.E., Gustova M.V., Frontasyeva M.V., Chigoeva D.N., Kaplina S.P. The use of nuclear physics methods for the analysis of wastes from the mining and processing industry by the example of the Unalsky tailing pond. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* [Success of modern natural science]. 2018, no. 7, pp. 142–150. (In Russian)
5. Kamanina I.Z., Gustova M.V., Frontasyeva M.V., Pukhaeva N.E., Kaplina S.P., Chigoeva D.N. Rare metals in the waste of the Unal tailings dump. *Vestnik Vladikavkaz scientific center*, 2018, vol. 18, no. 4, pp. 71–75. (In Russian) DOI: 10.23671/VNC. 2018.4.23794

6. Beroev S.B., Khatsaeva F.M. Priority areas of environmental management of mountainous areas of the Republic of North Ossetia-Alania. *Sustainable development of mountainous areas*, 2019, no. 4, pp. 429–435. (In Russian) DOI: 10.21177/1998-4502-2019-11-4-429-435
7. Beroev S., Khatsaeva F. Modern approaches to environmental management in the Republic of North Ossetia – Alania. *Vestnik of the Moscow state regional university. Series: natural sciences*. 2019, no. 3, pp. 77–87. (In Russian) DOI: 10.18384/2310-7189-2019-3-77-87
8. Chaligava O., Shetekauri S., Badawy W.M. et al. Characterization of Trace Elements in Atmospheric Deposition Studied by Moss Biomonitoring in Georgia. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 2021, no. 80, pp. 350–367. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00244-020-00788-x> (accessed 12.10.2021)
9. Shvetsova M.S., Kamanina I.Z., Frontasyeva M.V., Madadzada A.I., Zinikovskaia I.I., Pavlov S.S., Vergel K.N., Yushin N.S. Active moss biomonitoring using the «moss bag technique» in the park of Moscow. *Physics of Particles and Nuclei Letters*, 2019, vol. 16, no. 6, pp. 994–1003. DOI 10.1134/S1547477119060293
10. Madadzada A.I., Badawy W. M., Hajiyeva S.R., Veliyeva Z.T., Hajiyev O.B., Shvetsova M.S., Frontasyeva M.V. Assessment of atmospheric deposition of major and trace elements using neutron activation analysis and GIS technology: Baku – Azerbaijan. *Microchemical Journal*, 2019, vol. 147, pp. 605–614. DOI: 10.1016/j.microc.2019.03.061
11. Monitoring of atmospheric deposition of heavy metals, nitrogen and persistent organic pollutants in Europe using bryophytes. Monitoring manual. In: *Mezhdunarodnaya kooperativnaya programma po vozdeistviyu vozdukhnykh zagryaznenii na estestvennyy i sel'skokhozyaistvennyy rastitel'nost'. Evropeiskaya ekonomicheskaya komissiya OON v ramkakh konventsii o transgranichnom perenose na bol'shie rasstoyaniya* [International Cooperative Programme on Effects of Air Pollution on Natural Vegetation and Crops. United Nations economic commission for Europe convention on long-range transboundary air pollution]. 2018, 32 p. (In Russian)
12. *Standart predpriyatiya STP 104-2002. Mnogokomponentnyi instrumental'nyi rentgenofluorescentnyi analiz pochv i drugih ob"ektov okruzhayushchei sredy na toksichnye i soputstvuyushchie elementy. OIYal 6-8092* [Standard of the enterprise. STP 104-2002. Multicomponent instrumental X-ray fluorescent analysis soil and other objects of an environment on toxic and attendant elements. JINR 6-8092]. Dubna, 2002, 16 p. (In Russian)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Дзерасса Н. Чигоева осуществила пробоотбор и пробоподготовку образцов. Светлана П. Каплина и Марина В. Густова провели аналитические измерения образцов мха рентгенофлуоресцентным методом анализа. Инна З. Каманина и Илья И. Виноградов изучили морфологию и состав пылевых выпадений на поверхности мха при помощи растрового электронного микроскопа, оснащенного рентгеновским энерго-дисперсионным спектрометром. Инна З. Каманина и Светлана П. Каплина интерпретировали полученные данные, описали результаты и сделали выводы. Светлана П. Каплина и Инна З. Каманина корректировали рукопись до подачи в редакцию. Все авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Dzerassa N. Chigoeva took samples and made sample preparations. Svetlana P. Kaplina and Marina V. Gustova carried out analytical measurements of moss samples by X-ray fluorescence analysis. Inna Z. Kamanina and Ilya I. Vinogradov studied the morphology and composition of dust deposits on moss surfaces using a scanning electron microscope equipped with an X-ray energy-dispersive spectrometer. Inna Z. Kamanina and Svetlana P. Kaplina interpreted the data, described the results and made conclusions. Svetlana P. Kaplina and Inna Z. Kamanina corrected the manuscript before submission to the Editor. All authors are equally participated in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Инна З. Каманина / Inna Z. Kamanina <https://orcid.org/0000-0001-9186-8689>

Светлана П. Каплина / Svetlana P. Kaplina <https://orcid.org/0000-0003-1323-6349>

Марина В. Густова / Marina V. Gustova <https://orcid.org/0000-0002-1610-2883>

Дзерасса Н. Чигоева / Dzerassa N. Chigoeva <https://orcid.org/0000-0002-2577-5641>

Илья И. Виноградов / Iliy I. Vinogradov <https://orcid.org/0000-0002-3056-2165>