

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА: ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ И РАДИОНУКЛИДОВ

С.Н. Мамаева¹, М.В. Фронтасьева², К.А. Петрова¹, В.Н. Кононов¹,
В.Е. Колодезников¹, Е.С. Захаров¹

¹ Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Якутск

² Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

AIR QUALITY ASSESSMENT: DETERMINATION OF HEAVY METALS AND RADIONUCLIDES CONCENTRATION

S.N. Mamaeva¹, M.V. Frontasyeva², K.A. Petrova¹, V.N. Kononov¹, V.E. Kolodeznikov¹, E.S. Zakharov¹

¹ M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russia

² Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Russia

Реферат

Цель: Оценка уровня загрязнения окружающей среды радионуклидами и тяжелыми металлами на примере изучения атмосферных выпадений вблизи полигона твердых бытовых отходов г. Якутска.

Материал и методы: в качестве образцов исследования были использованы мхи-биомониторы (*Hylocomium splendens*, *Pleurozium Schreberi* и *Brachythecium salebrosum*), лишайники, почва, пробоотбор которых был осуществлен на территории, окружающей полигон бытовых (коммунальных) отходов на 9-м км Вилюйского тракта в г. Якутске в радиусе 51 км. В качестве методов исследования наличия и концентрации тяжелых металлов были применены метод оптической эмиссионной спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-ОЭС) PlasmaQuant PQ 9000 Elite (Analytik Jena, Германия) и прямой анализатор ртути DMA-80 evo Milestone. Радионуклидный состав образцов был исследован с помощью метода гамма-спектрометрии на полупроводниковом гамма-спектрометре ORTEC с детектором из особо чистого германия типа GEM-40 и программного обеспечения Maestro32.

Результаты: По результатам исследования на территории в пределах 51 км вдоль Вилюйского тракта от свалки в образцах мхов-биомониторов обнаружены следующие микроэлементы: P, S, Al, Fe, Mn, Ba, Sr, Zn, Cu, Pb, Cr, V, Ni, Co, Cd, Hg, причем медианы значений содержания Ba, Cr, Fe и Pb превышают аналогичные значения для условно “чистой” территории Норвегии.

Были обнаружены и определены концентрации следующих радиоизотопов: ¹³⁷Cs, космогенный радионуклид ⁷Be, радиоизотопы свинца ²¹²Pb, таллия ²⁰⁸Tl, висмута ²¹²Bi и актиния ²²⁸Ac – дочерние продукты радионуклида тория ²²³Th и изотопы свинца ²¹⁴Pb и висмута ²¹⁴Bi – дочерние продукты урана ²³⁸U.

Заключение: Высокие значения концентрации таких тяжелых металлов в образцах мха на близлежащих от города территориях (вблизи свалки) сопоставимы со значениями концентрации тяжелых металлов в образцах растительности с мест, находящихся вблизи, например, промышленных площадок горно-обогатительных комбинатов.

Обнаружение одинаковых тяжелых металлов и радионуклидов в атмосферной среде, почве города и в растительности, почве вблизи полигона может указывать, что одним из источников загрязнения среды и влияния на здоровье людей могут выступать продукты горения содержимого свалки.

Ключевые слова: полигон бытовых отходов, мхи-биомониторы, тяжелые металлы, радионуклиды, оптическая эмиссионная спектрометрия, гамма-спектрометрия

Abstract

Purpose: To assess the level of environmental pollution by radionuclides and heavy metals using the example of studying atmospheric precipitation near the municipal solid waste landfill in Yakutsk.

Material and methods: Biomonitor mosses (*Hylocomium splendens*, *Pleurozium Schreberi*, and *Brachythecium salebrosum*), lichens, and soil were used as research samples, which were sampled in the territory surrounding the municipal waste landfill on the 9th km of the Vilyuysky tract in Yakutsk within a radius of 51 km. The PlasmaQuant PQ 9000 Elite optical emission spectrometry (Analytik Jena, Germany) and the direct mercury analyzer DMA-80 evo Milestone were used as methods for studying the presence and concentration of heavy metals. The radionuclide composition of the samples was studied using gamma-ray spectrometry on an ORTEC semiconductor gamma-ray spectrometer with a GEM-40 high-purity germanium detector and Maestro32 software.

Results: According to the results of the study, in the territory within 51 km along the Vilyuysky tract from the landfill, the following microelements were found in samples of biomonitor mosses: P, S, Al, Fe, Mn, Ba, Sr, Zn, Cu, Pb, Cr, V, Ni, Co, Cd, Hg, with the median values of the content Ba, Cr, Fe, and Pb exceed similar values for the relatively «clean» territory of Norway.

During the study of radionuclide concentrations, concentrations of the following radioisotopes were detected and determined: ^{137}Cs , cosmogenic radionuclide ^7Be , radioisotopes of lead ^{212}Pb , thallium ^{208}Tl , bismuth ^{212}Bi and actinium ^{228}Ac – daughter products of thorium radionuclide ^{232}Th and isotopes of lead ^{214}Pb and bismuth ^{214}Bi – daughter products of uranium ^{238}U .

Conclusion: The high concentrations of such heavy metals in moss samples in the territories nearby the city (near landfills) are comparable to the concentrations of heavy metals in vegetation samples from places located near, for example, industrial sites of mining and processing plants.

The detection of the same heavy metals and radionuclides in the atmospheric environment, the soil of the city and in vegetation, the soil near the landfill may indicate that one of the sources of environmental pollution and effects on human health may be the combustion products of the contents of the landfill on the 9th km along the Vilyuysky tract.

Key words: domestic waste landfill, moss-biomonitor, soils, heavy metals, radionuclides, optical emission spectrometry, gamma spectrometry

E-mail: sargylana_mamaeva@mail.ru

<https://doi.org/10.52775/1810-200X-2025-105-1-53-59>

Введение

Негативные факторы окружающей среды, такие как радиационный фон, особенно повышенный в промышленных мегаполисах, городах вблизи атомных станций, бытовая химия, содержащая массу ядовитых канцерогенов, проникающих в человеческий организм через легкие при вдыхании испарений, выхлопные газы машин и автобусов, промышленные отходы, выпускаемые фабриками в атмосферу, загрязняющие водные ресурсы, отдельные виды низкосортной пластмассы, содержащие ядовитые соединения, в сочетании со сниженным иммунитетом, – все они могут с высокой вероятностью вызвать развитие опухолей [1, 2].

По последним данным [3, 4], уровень загрязнения атмосферного воздуха в г. Якутске взвешенными веществами, оксидом углерода, диоксидом азота, бенз(а)приреном, диоксидом серы оценивается как повышенный более чем в два раза. В результате проверки полигона бытовых отходов г. Якутска, проведенной в конце 2022 г., было установлено, что полигон переполнен. Несмотря на это, в настоящее время он продолжает действовать, и на его территории горят круглогодично запрещенные отходы, выделяя отравляющие вещества [5]. В результате тления (горения) отходов в отобранных пробах атмосферного воздуха установлено превышение содержания диоксида серы SO_2 для городских и сельских поселений почти в 10 раз. Наряду с этим установлены факты незаконного

приема и захоронения на свалке таких запрещенных отходов, как оргтехника, бытовые приборы (мониторы, телевизоры, компьютеры, картриджи, холодильники, микроволновки и т.д.), крыши, черный и цветной металл и т.д., также отходы, подлежащие утилизации (бумага, картон, полимерные материалы, металлы и т.д.), в состав которых входят тяжелые металлы (ТМ) и другие токсичные вещества.

Таким образом, существует необходимость исследования уровня выпадения ТМ и радионуклидов в окружающую среду от различных источников, в том числе от полигона твердых бытовых отходов г. Якутска. Одним из важнейших аспектов в решении задач охраны окружающей среды и здоровья человека является контроль качества атмосферного воздуха. К наиболее опасным загрязнителям окружающей среды относятся ТМ и радионуклиды.

В связи с этим проведена оценка уровня загрязнения радионуклидами и ТМ вблизи г. Якутска с помощью мхов-биомониторов, других видов растений и почвы. Выбор мхов в качестве биомониторов – образцов исследования обусловлен тем, что метод мхов-биомониторов успешно использовался и используется в исследованиях, проводимых в рамках реализации национальных и международных программ по биомониторингу атмосферных выпадений ТМ и радионуклидов [6].

Материал и методы

Метод мхов-биомониторов был использован для оценки ареала выпадений ТМ и других следовых элементов (Al, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, P, Pb, S, Sr, Sb, V, Zn и Hg) на территорию, окружающую полигон бытовых (коммунальных) отходов на 9-м км Вилюйского тракта в г. Якутске в радиусе 51 км. Пробоотбор мхов-биомониторов (*Hylocomium splendens*, *Pleurozium Schreberi* и *Brachythecium salebrosum*) проводили в соответствии с методикой UNECE ICP Vegetation [7]. Для определения элементного состава атмосферных выпадений отбирали зеленые и зелено-коричневые сегменты мхов, соответствующие трехлетнему приросту. Одновременно с этим был проведен анализ мхов, лишайника и почв на содержание радионуклидов (^{40}K , ^{137}Cs , $^{212,214}\text{Pb}$, $^{212,214}\text{Bi}$, ^{208}Tl , ^7Be , ^{228}Ac) в ряде отобранных проб.

Исследование наличия и концентрации тяжёлых металлов, определение элементного

состава образцов мхов проводилось в лаборатории нейтронной физики им. И.М. Франка Объединенного института ядерных исследований, г. Дубна. Очищенные от постороннего мусора и остатков почвы образцы мха измельчались с помощью шаровой мельницы с агатовыми стаканами (планетарной мономельницы PULVERISETTE 6 classic line фирмы Fritsch), затем полученный материал сушился при температуре 40°C до постоянной массы.

Определение концентрации ТМ проводилось методом оптической эмиссионной спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-ОЭС) PlasmaQuant PQ 9000 Elite (Analytik Jena, Германия) и прямым анализаторе ртути DMA-80 evo Milestone. Помещенный в тефлоновый сосуд 0,5 г мха с 5 мл HNO_3 и 2 мл H_2O_2 минерализовали в микроволновой системе MARS6 (CEM, США). В фильтрованные после минерализации растворы, перенесенные в калиброванные колбы, добавляли деионизованную воду до объема 50 мл. Затем определяли содержание элементов с помощью ИСП-ОЭС. В образцах было определено 15 элементов: Al, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, P, Pb, S, Sr, V и Zn. Наличие ртути определяли в 50 мкг образцов, помещенных в никелевую кювету, с использованием прямого анализатора ртути.

Исследование наличия и удельной активности радионуклидов в пробах мха, лишайника и почвы проводилось в лаборатории "Радиационные технологии" Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова в г. Якутске. Растительные образцы сначала просушивались на воздухе при комнатной температуре в течение двух месяцев до постоянного веса, затем производилось озоление в муфельной печи при температуре 250°C в течение 2–3 часов и измельчение до состояния однородного порошка. Образцы почвы просушивались на воздухе при комнатной температуре в течение двух месяцев, затем очищались и просеивались. Для измерения состава и удельной активности радионуклидов использовался метод гамма-спектрометрии на полупроводниковом гамма-спектрометре ORTEC с детектором из особо чистого германия типа GEM-40. Анализ гамма-спектров был проведен с применением программного обеспечения Maestro32.

Таблица 1

Дискриптивная статистика концентрации тяжелых металлов в образцах мха, мг/кг

Элемент	Среднее, мг/кг	Стандартное отклонение, мг/кг	Медиана, мг/кг	Разброс (мин.–макс.), мг/кг	Норвегия Медиана (разброс), мг/кг
Al	686	392	567	366–1345	460 (100–3050)
Ba	55,2	16,9	58,0	28–71,5	25 (53–130)
Cd	0,052	0,026	0,042	0,037–0,098	0,08 (0,02–1,33)
Co	0,32	0,11	0,32	0,19–0,47	0,2 (0,06–23)
Cr	1,35	0,90	1,05	0,72–2,93	0,7 (0,2–17)
Cu	3,42	1,89	2,77	2,04–6,7	4,2 (1,8–370)
Fe	527	367	413	280–1165	310 (78–8125)
Mn	337	213	287	86–668	400 (40–1660)
Ni	1,14	0,49	0,97	0,77–1,98	1,1 (0,4–550)
P	1842	268	1845	1538–2249	–
Pb	2,18	2,00	1,22	1,02–5,72	0,05 (0,001–0,4)
S	979	134	949	853,6–1128,5	820 (470–1860)
Sr	41	18	46	16,36–60,19	136 (3,8–60)
V	1,2	0,6	1,0	0,72–2,28	1,2 (0,3–14)
Zn	28	17	24	14,3–56,04	31 (8–409)
Hg	0,0282	0,0038	0,0264	0,0251–0,0339	0,05 (0,005–0,53)

Результаты и обсуждение

В табл. 1 представлены статистические данные концентрации ТМ (среднее, стандартное отклонение, медиана, минимум, максимум и разброс данных для пяти измерений) в образцах мхов-биомониторов на территории вблизи г. Якутска и в Норвегии, которая считается одной из чистых регионов Европы [8]. Сравнение медиан значений концентрации элементов в образцах мхов показало, что имеется значительное превышение концентраций следующих элементов: алюминия Al (1,2 раза), бария Ba (в 2,3 раза), кобальта Co (1,6 раза), хрома Cr (1,5 раза), железа Fe (1,3 раза), серы S (в 1,2 раза) и свинца Pb (24 раза) в образцах мхов, собранных по Вилуйскому тракту, чем в образцах, собранных на территории Норвегии. Эти данные соответствуют тому, что на свалке находится большое количество бумажного (Ba) и металлического мусора (Al, Co, Cr, Fe, Pb). Из полученных результатов на территории свалки наблюдается следующая тенденция накопления исследованных элементов: $P > S > Al > Fe > Mn > Ba > Sr > Zn > Cu > Pb > Cr > V > Ni > Co > Cd > Hg$, причем медианы значений содержания Ba, Cr, Fe и Pb превышают аналогичные значения для условно чистой территории Норвегии. Необходимо отметить, что на ее территории находится ферро-хромовый комбинат.

Обнаруженные тяжелые металлы, такие как хром Cr (концентрация выше, чем предель-

но допустимые концентрации (ПДК)), никель Ni и цинк Zn (концентрация выше, чем ПДК), обычно встречаются на промышленных площадках горно-обогатительных компаний (ГОК). Известно, что в результате деятельности горнодобывающих предприятий в близлежащих местностях наблюдается увеличение содержания тяжелых металлов в почве и растительности. Например, показано, что кустарники, произрастающие на территории промышленной площадки Удачинского ГОК (Якутия, Россия), накапливают ТМ высоких концентраций (Cr, Ni и Zn) [9].

Кроме того, по результатам данного исследования было выявлено убывание концентрации свинца и железа в зависимости от расстояния между свалкой и точкой пробоотбора (рис. 1, 2), что может свидетельствовать, о том, что источниками загрязнения мхов может быть содержимое мусора, накопленное на свалке.

По результатам гамма-спектрометрического анализа были обнаружены следующие радионуклиды: ^{40}K , ^{137}Cs , ^{212}Pb , ^{214}Pb , ^{212}Bi , ^{214}Bi , ^{208}Tl , ^7Be , ^{228}Ac (табл. 2) и определены их удельные активности.

Радиоактивный цезий был обнаружен во всех пробах вдоль Вилуйского тракта, концентрация которого в них соответствует уровню глобальных выпадений и меньше допустимого уровня вмешательств (1000 Бк/кг) (табл. 3). Для сравнения кроме данных удель-

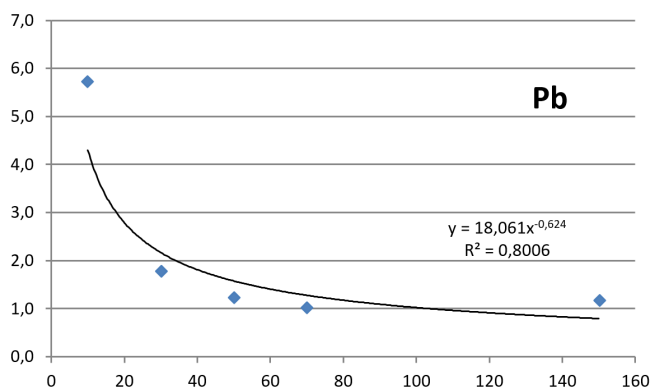


Рис. 1. Убывание концентрации свинца (мг/кг) в образцах мха с расстоянием (км) от свалки

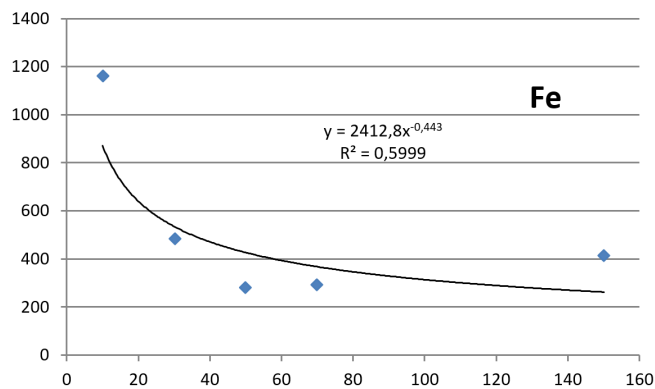


Рис. 2. Убывание концентрации железа (мг/кг) в образцах мха с расстоянием (км) от свалки

Таблица 2

Удельная активность радионуклидов (Бк/кг) в образцах мха, лишайника и почвы

№	Образец	Виллой-ский тракт, км	Удельная активность радионуклида, Бк/кг								
			⁴⁰ K	¹³⁷ Cs	²¹² Pb	²¹⁴ Pb	²¹⁴ Bi	²⁰⁸ Tl	²¹² Bi	⁷ Be	²²⁸ Ac
1	Мох <i>Brachythecium salebrosum</i>	10	704,9±37,3	17,8±2,1	49,5±3,7	20,7±3,9	30,3±3,9	20,6±2,1	66,4±24,5	45,5±13,1	17,6±6,7
2	Мох <i>Brachythecium salebrosum</i>	27	243,5±14,6	3,1±1,0	13,8±1,6	6,5±1,9	5,5±1,8	3,6±1,2	—	—	—
3	Мох <i>Brachythecium salebrosum</i>	30	424,9±29,7	55,9±3,4	37,6±3,5	19,1±4,0	25,5±3,8	11,9±2,3	—	—	—
4	Мох <i>Hyloconium splendens</i>	51	342,6±18,8	63,1±2,3	17,9±1,9	10,8±2,3	10,6±2,2	6,2±1,2	—	37,8±9,3	—
5	Лишайник <i>Cladonia rangiferina</i>	30	421,0±18,9	70,5±2,1	15,8±1,6	14,7±2,2	12,8±2,1	4,2±0,9	—	27,6±7,9	13,4±3,4
6	Почва	27	446,2±14,2	98,5±2,3	16,8±1,2	7,8±1,2	4,9±1,0	7,2±0,8	—	—	12,8±2,5
7	Почва	30	719,9±12,2	33,8±0,9	2,4±0,6	8,9±0,9	8,1±0,7	5,7±0,5	17,4±5,0	—	15,4±2,1
8	Почва	51	594,4±13,0	18,7±0,9	16,2±0,8	5,5±0,8	4,2±0,6	6,2±0,6	20,0±4,4	—	7,9±1,7

Таблица 3

Удельная активность ¹³⁷Cs, Бк/кг, и поверхностная загрязненность ¹³⁷Cs, Бк/м²

Образец	Виллойский тракт, км	Глубина забора почвы/длина прироста мха и высота лишайника, см	Удельная активность ¹³⁷ Cs, Бк/кг	Поверхностная загрязненность ¹³⁷ Cs, Бк/м²
Мох <i>Brachythecium salebrosum</i>	10	3	17,82	4,89
Мох <i>Brachythecium salebrosum</i>	27	5	3,09	1,35
Почва	27	0–2	98,47	172,47
Лишайник <i>Cladonia rangiferina</i>	30	7	70,55	17,71
Мох <i>Brachythecium salebrosum</i>	30	10	55,92	6,15
Почва	30	5–7	33,77	94,18
Мох <i>Hyloconium splendens</i>	51	4	63,05	11,45
Почва	51	0–1	18,75	111,38
Мох <i>Pleurozium shreberi</i>	200 (Амгинский улус)	5	6,02	1,23

ной активности и поверхностной загрязнённости ^{137}Cs образцов мхов-биомониторов в таблице приведены данные для мха, проба которого была собрана на территории Амгинского улуса. Сопоставление удельной активности и поверхностного загрязнения радиоцезием исследованных образцов вблизи г. Якутска и образца мха в Амгинском улусе показывает, что концентрация ^{137}Cs в несколько раз больше в образцах мха на территории вблизи свалки г. Якутска.

Результаты нашего исследования свидетельствуют о том, что содержание (концентрация) радиоактивного цезия, диапазон значения которого варьирует от $3,09 \pm 1,03$ до $70,55 \pm 2,11$ Бк/кг, значительно превышает диапазоны данных исследования радионуклида ^{137}Cs в других регионах РС (Я) [10].

Выявленные в данной работе ТМ и радионуклиды в образцах мхов, лишайника и почвы подтверждают результаты исследования атмосферного воздуха г. Якутска, проведенных Институтом мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН [11]. Показано, что концентрация некоторых ТМ в образцах мха превышает предельно допустимые значения концентрации в почве, что свидетельствует о том, что в почве местностей, с которых был собран мох, концентрация ТМ еще выше [12].

Заключение

В ходе исследования было определено наличие ТМ в мхах: большое количество бумажного (Ba – элемент третьего класса токсичности) и металлического мусора (Cr (VI) – токсичная форма хрома, Fe, Pb – элемент первого класса токсичности). Сравнение медиан значений содержания Ba, Cr, Fe и Pb показывает, что они превышают аналогичные значения для условно чистой территории Норвегии. Высокие значения концентрации таких ТМ в образцах мха на близлежащих от города территориях (вблизи свалки) сопоставимы со значениями концентрации ТМ в образцах растительности с мест, находящихся вблизи, например, промышленных площадок горно-обогатительных комбинатов. Также обнаружены в превышающей норму концентрации такие ТМ, как Cd, Co, Cu, Mn, Ni, Sr, V, Zn, Hg, а также радионуклиды в мхах, лишайнике, почве: дочерние радиоизотопы урана ^{238}U (изотопы свинца ^{214}Pb и висмута

^{214}Bi) и тория ^{223}Th (радиоизотопы свинца ^{212}Pb , таллия ^{208}Tl , висмута ^{212}Bi и актиния ^{228}Ac).

Обнаружение одинаковых тяжелых металлов и радионуклидов в атмосферной среде, почве города и в растительности, почве вблизи полигона может указывать, что одним из источников загрязнения среды и влияния на здоровье людей могут выступать продукты горения содержимого свалки на 9-м км по Вилуйскому тракту.

Данные исследования необходимы для мониторинга и улучшения окружающей среды в целях реализации планов по увеличению продолжительности жизни до 80 лет в Якутии к 2030 г., как заявил Глава Республики Саха (Якутия) Айсен Николаев в своем послании государственному собранию (Ил Тумэн).

Результаты данного исследования показывают о необходимости внедрения сортировки, технологий переработки и грамотной утилизации отходов.

Список литературы

1. Основные причины возникновения онкологических заболеваний – URL: <https://oncology.ru/specialist/prophylaxis/causes/>.
2. Факторы риска развития рака – URL: <https://profilaktika.ru/for-population/profilaktika-zabolevaniy/onkologiya/factory-riska-razvitiya-raka/>.
3. Пахомов АА, Федорова ЕЯ. Экологические нагрузки на г. Якутск и меры противодействия. Устойчивый Север: общество, экономика, экология, политика. 2021; 211-5.
4. Чемезов ЕН, Сосина СА. Состояние атмосферы республики Саха (Якутия). Символ науки. 2017; (1).
5. Жители Якутска смогут сдавать мусор на городской полигон отходов – URL: <https://1sn.ru/ziteli-yakutsk-smogut-sdatvat-musor-na-gorodskoi-poligon-otxodov>.
6. Frontasyeva MV, Steinnes E, Harmens H. Monitoring long-term and large-scale deposition of air pollutants based on moss analysis. Chapter in a book "Biomonitoring of Air Pollution Using Mosses and Lichens: Passive and Active Approach - State of the Art and Perspectives". Nova Science Publishers. 2016; 2-20.
7. Moss Manual - 2020 - URL: <https://icpvegetation.ceh.ac.uk/get-involved/manuals/moss-survey>.

8. Steinnes E, et al. Atmospheric deposition of heavy metals in Norway. National Moss Survey 2015. NILU rapport. 2017.
9. Gololobova A., Legostaeva Y. Potentially toxic elements uptake and distribution in *Betula middendorffii* T. and *Duschekia fruticosa* R. growing on diamond mining area (Yakutia, Russia) // Plants. – 2024. – Т. 13. – №. 17. – С. 2440.
10. Яковлева ВД, Степанов ВЕ. Радиоэкологические проблемы мирных подземных ядерных взрывов в Якутии. 2013; 128.
11. Научно-технический отчет “Происхождение и состав пыли на территории МО г. Якутск” – URL: https://sinetspark.org/dust_in_yakutsk/tpost/itp1oh7n91-zavershen-nauchnoe-issledovanie-prichin.
12. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве: Гигиенические нормативы. 2006; 15.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Участие авторов. Статья подготовлена с равным участием авторов.

Поступила: 04.03.2025. Принята к публикации: 10.03.2025.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Financing. The study had no sponsorship.

Contribution. Article was prepared with equal participation of the authors.

Article received: 04.03.2025. Accepted for publication: 10.03.2025.