

Научная статья

Original article

УДК 582.33/34:581.9(470.3+470.5)

DOI 10.55186/25876740\_2023\_7\_1\_5

## БИОИНДИКАЦИЯ В ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ ТРАНСГРАНИЧНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

### BIOINDICATION IN THE ASSESSMENT OF THE STATE OF TRANSBOUNDARY TERRITORIES



**Косумов Рамзан Сулиманович**, аспирант кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности, ФГБОУ ВО «Чеченский государственный педагогический университет» (364037, г. Грозный, ул. Субры Кишиевой, 33), тел. 8(928) 952-86-81, ORCID: 0000-0000-0000-0000, [archi95-02@mail.ru](mailto:archi95-02@mail.ru)

**Оказова Зарина Петровна**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности, ФГБОУ ВО «Чеченский государственный педагогический университет» (364037, г. Грозный, ул. Субры Кишиевой, 33), тел. 8(918) 707-74-48, ORCID: 0000-0002-4405-7725, [okazarina73@mail.ru](mailto:okazarina73@mail.ru)

**Kosumov Ramzan Sulimanovich**, post-graduate student of the Department of Ecology and Life Safety, Chechen State Pedagogical University (364037, Grozny, Subry Kishiev St., 33), tel. 8(928) 952-86-81, ORCID: 0000-0000-0000-0000, [archi95-02@mail.ru](mailto:archi95-02@mail.ru)

**Okazova Zarina Petrovna**, doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of Ecology and Life Safety, Chechen State Pedagogical University

(364037, Grozny, Subry Kishiev St., 33), tel. 8(918) 707-74-48, ORCID: 0000-0002-4405-7725, [okazarina73@mail.ru](mailto:okazarina73@mail.ru)

**Аннотация.** Мхи признаны один из основных биоиндикаторов атмосферного загрязнения, они поглощают и накапливают химические соединения и вещества. Это объясняется их поверхностной корневой системой. Методика биомониторинга мхов разработана во второй половине прошлого столетия скандинавскими учеными. В конце 80-х годов XX века создана Международная программа по изучению воздействия загрязнителей воздуха на сельскохозяйственные культуры и полустеppenную растительность. В рамках данной программы с периодичностью 5 лет издается Атлас атмосферных выпадений тяжелых металлов. Отделение нейтронно-активационного анализа Объединенного института ядерных исследований принимает участие в этой работе с 1995 года. Цель исследования - изучение особенностей регионального распределения атмосферных выпадений тяжелых металлов в Чеченской Республике с применением мхов-индикаторов *Pleurozium schreberi* и *Thuidium tamariscinum*. Исследование проводилось в период 2019-2022 на трансграничных территориях Чеченской Республики. Вид *Thuidium tamariscinum* обладает схожей чувствительностью и аккумулирующей способностью, как и эталонные виды. В случае отсутствия рекомендованных для биомониторинга видов его можно использовать в качестве индикатора. Изучаемые элементы можно объединить в три группы: накапливаемые в результате осаждения твердых частиц почвы и пыли; привносимые за счет выщелачивания при разложении другой растительности и листового опада; элементы, поглощаемые мхами – биоиндикаторами вместе с питательными веществами из атмосферных осадков.

**Annotation.** Mosses are recognized as one of the main bioindicators of atmospheric pollution; they absorb and accumulate chemical compounds and substances. This is due to their superficial root system. The moss biomonitoring technique was developed in the second half of the last century by Scandinavian scientists. In the late 1980s, the International Program was established to study the effects of air pollutants on crops and

semi-natural vegetation. As part of this program, the Atlas of Atmospheric Precipitation of Heavy Metals is published every 5 years. The Department of Neutron Activation Analysis of the Joint Institute for Nuclear Research has been participating in this work since 1995. The purpose of the study is to study the features of the regional distribution of atmospheric precipitation of heavy metals in the Chechen Republic using indicator mosses *Pleurozium schreberi* and *Thuidium tamariscinum*. The study was conducted in the period 2019-2022 in the cross-border territories of the Chechen Republic. The species *Thuidium tamariscinum* has a similar sensitivity and accumulative capacity as the reference species. If there are no species recommended for biomonitoring, it can be used as an indicator. The studied elements can be grouped into three groups: those accumulated as a result of sedimentation of solid particles of soil and dust; introduced by leaching from the decomposition of other vegetation and leaf litter; elements absorbed by mosses - bioindicators together with nutrients from atmospheric precipitation.

**Ключевые слова:** биомониторинг, мхи, тяжелые металлы, почвы, окружающая среда, загрязнение, растительность, чувствительность индикаторов.

**Key words:** biomonitoring, mosses, heavy metals, soils, environment, pollution, vegetation, indicator sensitivity.

### **Введение.**

На современном этапе Конвенция Организации Объединенных Наций о трансграничном переносе загрязнений воздуха на большие расстояния ставит задачу перед участниками ежегодного сбора образцов мха и их анализа на предмет содержания тяжелых металлов и органических загрязнителей. Впоследствии полученные данные будут использоваться в создании атласа со статистическими показателями и картами загрязнения. Это объясняется тем, что загрязнение атмосферы представляет собой реальную угрозу здоровью населения. Масштабы последствий будут определяться характеристиками загрязнителей и их содержанием в экосистемах [4,10].

Токсическая активность загрязняющих веществ, как известно, определяется видом соединения и его воздействующим количеством. Оценка уровня загрязнения в локальном, региональном и глобальном масштабах необходима с целью анализа неблагоприятных последствий прежде всего для человека, а затем для все окружающей среды в целом. Химические методы анализа атмосферного воздуха существенно уступают методам биоиндикации, так как последние на сегодняшний день признаны наиболее чувствительными. В качестве недостатка методов биоиндикации можно назвать ограниченность в пространстве и во времени [2, 6].

Российские ученые имеют большой опыт прогнозирования загрязнения на различных уровнях с применением методов как машинного обучения так и спутниковых снимков [5].

Мхи признаны один из основных биоиндикаторов атмосферного загрязнения, они поглощают и накапливают химические соединения и вещества. Это объясняется их поверхностной корневой системой. Методика биомониторинга мхов разработана во второй половине прошлого столетия скандинавскими учеными. В последствии этот метод получил широкое распространение и стал совершенствоваться. В конце 80-х годов XX века создана Международная программа по изучению воздействия загрязнителей воздуха на сельскохозяйственные культуры и полуестественную растительность. В рамках данной программы с периодичностью 5 лет издается Атлас атмосферных выпадений тяжелых металлов. Отделение нейтронно-активационного анализа Объединенного института ядерных исследований принимает участие в этой работе с 1995 года.

**Цель исследования** - изучение особенностей регионального распределения атмосферных выпадений тяжелых металлов в Чеченской Республике с применением мхов-индикаторов *Pleurozium schreberi* и *Thuidium tamariscinum*.

**Экспериментальная база.** Исследование проводилось в период 2019-2022 на трансграничных территориях Чеченской Республики.

**Методы исследования.** Пробы мхов *Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt. и *Thuidium tamariscinum* (Hedw.) Bruch et al. отбирали преимущественно на удаленных от транспортных путей открытых лесных площадках (размер 50 x 50 м) на расстоянии от кроны деревьев не менее 1 м. Пробы собирали в полиэтиленовые пакеты объемом 1 литр, после доставки в лабораторию образцы растительности высушивали и очищали от примесей, затем упаковывали в бумажные пакеты и хранили до анализа в сухом, чистом и темном месте [9].

Для оценки атмосферных выпадений тяжелых металлов использовали трёхлетний годовой прирост. Элементный анализ выполнен методом эпитеpmального нейтронно-активационного анализа на импульсном реакторе ИБР-2 в Лаборатории нейтронной физики Объединенного института ядерных исследований. Образцы для ЭНАА, около 0,3 г, были гранулированы и герметизированы в полиэтиленовой фольге для анализа на основе короткоживущих радионуклидов, для элементов с долгоживущими радионуклидами образцы были упакованы в алюминиевые чашки. Образцы облучали в течение 3 мин для короткоживущих радионуклидов и в течение 100 часов для определения элементов, связанных с долгоживущими радионуклидами.

После облучения спектры гамма-излучения измерялись детектором Ge высокой чистоты. Статистическая обработка данных включала расчет описательных статистических данных.

**Результаты и обсуждение.** На основании факторного анализа выполнили описание и идентификацию возможных источников следовых элементов. Для визуализации факторных нагрузок атмосферных осадений в регионе были построены карты распределения с использованием программного пакета ArcGis [7, 11].

При проведении мониторинга на основе «моховой техники» наиболее предпочтительными являются два вида плеврокарпных мхов: *Hylocomium splendens* и *Pleurozium schreberi*. Эти виды считаются наиболее представительными для европейской части. Одно из направлений совершенствования методологии «моховой техники» и расширением границ

применяемости метода связано с выявлением видов-индикаторов, обладающих схожей чувствительностью. Часто в аналогичных исследованиях встречаются данные, основанные на применении мхов видов *Hypnum cupressiforme* и *Pseudoscleropodium purum* – эти виды также довольно часто встречаются в лесных экосистемах [1, 3].

В горных районах собран вид *Abietinella abietina* var. *abietina* (Hedw.) M. Fleisch. На засушливых территориях, где биоразнообразие их не связано ни с одним из перечисленных предпочтительных видов, можно вести сбор и других мхов, например, *Barbula indica*, *Camptothecium lutescens*, *Homalothecium lutescens* и *Homalothecium sericeum* [8].

Сравнительный анализ коэффициентов биологического накопления обоих видов показал одинаковый порядок накопления следовых элементов. Эти значения можно принимать как естественный уровень накопления следовых элементов, сложившийся в результате сочетания различных факторов, условий обитания, особенностей климата и др.

Для установления взаимосвязи содержания микроэлементов во мхах и их происхождения методом анализа главных компонент были выделены семь факторов с суммарной нагрузкой.

Ассоциация элементов, формируемая под воздействием первого фактора, представлена редкоземельными элементами и элементами основных почвообразующих минералов. Предположительно, фактор 1 – это ветровой перенос частиц пыли и почвы.

Второй фактор формирует группу химических элементов антропогенного и техногенного происхождения. Скорее всего данный фактор связан с жидкими атмосферными осадками, в основном трансграничного характера.

Третий фактор - ассоциация биогенных и эссенциальных элементов, следовательно, его можно рассматривать как естественную причину аккумуляции этих компонентов. Третий фактор определяет вынос этих элементов из растительных тканей.

Четыре оставшихся фактора в сумме дают небольшую нагрузку, их трудно определить в связи со специфичностью ассоциации элементов и сложностью определить происхождение.

Вид *Thuidium tamariscinum* обладает схожей чувствительностью и аккумулирующей способностью, как и эталонные виды. Следовательно, при отсутствии рекомендованных для биомониторинга видов его можно использовать в качестве индикатора атмосферных осадений тяжелых металлов. Изучаемые элементы можно объединить в три группы: накапливаемые в результате осаждения твердых частиц почвы и пыли; привносимые за счет выщелачивания при разложении другой растительности и листового опада; элементы, поглощаемые мхами – биоиндикаторами вместе с питательными веществами из атмосферных осадков.

### **Вывод.**

По итогам факторного анализа можно будет создать карты факторных нагрузок. Действие первого фактора возможно привязать к приграничным территориям. Характер переноса следовых элементов в атмосфере определяется циркуляционными факторами.

### **Литература**

1. Бревдо Е.Ю. Биоиндикационные возможности мха *Nyholmiella obtusifolia* (L.) при оценке состояния воздушной среды / Е.Ю. Бревдо, А.Ф. Мейсурова // Вестник Тверского государственного университета. Серия Биология и экология. 2022. № 3(67). С. 43-50.
2. Бусько Е.Г. Современные методы фитоиндикации техногенного загрязнения природных экосистем тяжелыми металлами / Е.Г. Бусько, Е.В. Акшевская // Материалы Международной научно-практической конференции «Сахаровские чтения 2022 года: экологические проблемы XXI века». Минск. 2019. С. 165-169.
3. Горецкая А.Г. Накопление тяжелых металлов в растениях импактных районов севера европейской территории России и здоровье населения / А.Г. Горецкая, Д.О. Душкова, А.В. Евсеев // Материалы Всероссийской научно-



практической конференции «Биологические системы: устойчивость, принципы и механизмы функционирования». Нижний Тагил. 2017. С. 88-98.

4. Евсеев А.В. Аэрозольное поступление техногенных поллютантов в компоненты природной среды в Центрально-Кольском импактном районе / А.В. Евсеев, Е.А. Шахпендерян, А.С. Султыгова // Экосистемы: экология и динамика. 2021. Т.5. № 1. С. 73-93.

5. Крайняя Т.С. Бриобионты восточных промышленных узлов Центрального Донбасса в экологическом мониторинге и обучающих программах / Т.С. Крайняя // Вестник студенческого научного общества ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет». 2022. Т. 1. № 14. С. 70-73.

6. Кусова Н.Х. Экологический анализ городских почв с использованием биоиндикаторов / Н.Х. Кусова, З.П. Оказова, М.Д. Демельханов // Известия Чеченского государственного педагогического университета. – 2018. – Т. 20. - № 2(21). – С. 24-29.

7. Мейсунова А.Ф. Сравнительный анализ содержания фотосинтетических пигментов у некоторых видов мхов в рекреационных зонах города Твери / А.Ф. Мейсунова, Е.Ю. Бревдо, А.А. Суворова // Вестник Тверского государственного университета. Серия Биология и экология. 2022. № 3(67). С. 157-169.

8. Морозова Е.И. Бриофлора горняцкого района г. Макеевки / Е.И. Морозова // Вестник студенческого научного общества ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет». – 2018. – Т.1. - № 10. – С. 71-74.

9. Оказова З.П., Агаева Ф.А., Кусова Н.Х. Биомониторинг состояния окружающей среды. Свидетельство о регистрации базы данных 2019620769, 17.05.2019. Заявка № 2019620498 от 04.04.2019.

10. Оказова З.П. Мхи как индикаторы загрязнения окружающей среды / З.П. Оказова, Р.С. Косумов, М.Д. Демельханов, Р.Р. Дандаев // Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Охрана биоразнообразия и экологические проблемы природопользования». – Пенза. 2022. – С. 118-120.



11. Сергеева А.С. Бриоиндикация состояния воздуха в промышленной части северного Приазовья / А.С. Сергеева, А.. Алемасова, А.И. Сафонов // Материалы Международной научно-практической конференции «Донецкие чтения 2019: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности». Донецк. 2019. С. 272-274.

### References

1. Brevdo E.Yu. Bioindicative capabilities of the moss *Nyholmiella obtusifolia* (L.) in assessing the state of the air / E.Yu. Brevdo, A.F. Meysurova // Bulletin of the Tver State University. Series Biology and Ecology. 2022. No. 3(67). pp. 43-50.

2. Busko E.G. Modern methods of phytoindication of technogenic pollution of natural ecosystems with heavy metals / E.G. Busko, E.V. Akshevskaya // Proceedings of the International Scientific and Practical Conference "Sakharov Readings 2022: Environmental Problems of the 21st Century". Minsk. 2019. S. 165-169.

3. Goretskaya A.G. Accumulation of heavy metals in plants of the impact areas of the north of the European territory of Russia and health of the population / A.G. Goretskaya, D.O. Dushkova, A.V. Evseev // Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference "Biological Systems: Stability, Principles and Mechanisms of Functioning". Nizhny Tagil. 2017. S. 88-98.

4. Evseev A.V. Aerosol entry of technogenic pollutants into the components of the natural environment in the Central Kola impact region / A.V. Evseev, E.A. Shahpenderyan, A.S. Sulygova // Ecosystems: ecology and dynamics. 2021. V.5. No. 1. S. 73-93.

5. Extreme T.S. Bryobionts of eastern industrial centers of the Central Donbass in environmental monitoring and training programs / T.S. Extreme // Bulletin of the Student Scientific Society of the Donetsk National University. 2022. V. 1. No. 14. S. 70-73.

6. Kusova N.Kh. Ecological analysis of urban soils using bioindicators / N.Kh. Kusova, Z.P. Okazova, M.D. Demelkhanov // Proceedings of the Chechen State Pedagogical University. - 2018. - T. 20. - No. 2 (21). - S. 24-29.

7. Meysurova A.F. Comparative analysis of the content of photosynthetic pigments in some species of mosses in the recreational areas of the city of Tver / A.F. Meysurova, E.Yu. Brevdo, A.A. Suvorov // Bulletin of the Tver State University. Series Biology and Ecology. 2022. No. 3(67). pp. 157-169.

8. Morozova E.I. Brioflora of the mining district of Makeevka / E.I. Morozova // Bulletin of the Student Scientific Society of the Donetsk National University. - 2018. - V.1. - No. 10. - S. 71-74.

9. Okazova Z.P., Agaeva F.A., Kusova N.Kh. Biomonitoring of the state of the environment. Database registration certificate 2019620769, 05/17/2019. Application No. 2019620498 dated 04/04/2019.

10. Okazova Z.P. Mosses as indicators of environmental pollution / Z.P. Okazova, R.S. Kosumov, M.D. Demelkhanov, R.R. Dandaev // Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference "Biodiversity Protection and Environmental Problems of Nature Management". - Penza. 2022. - S. 118-120.

11. Sergeeva A.S. Brioindication of the state of air in the industrial part of the northern Sea of Azov / A.S. Sergeeva, A.. Alemasova, A.I. Safonov // Proceedings of the International Scientific and Practical Conference "Donetsk Readings 2019: Education, Science, Innovation, Culture and Modern Challenges". Donetsk. 2019. S. 272-274.

© Косумов Р.С., Оказова З.П., 2022. *International agricultural journal*, 2022, № 1, 32-41.

**Для цитирования:** Косумов Р.С., Оказова З.П. Биоиндикация в оценке состояния трансграничных территорий // *International agricultural journal*. 2022. № 1, 32-41.