

Биология

УДК 57.04:546.36*137:582.29(476.6-37)Островец)

EDN: ALRBSO

Динамика содержания ^{137}Cs в лишайнике *Xanthoria parietina* (L.) Th. Fr. зоны планирования срочных защитных мероприятий территории воздействия Белорусской АЭС

В.С. АВЕРИН¹, А.Г. ЦУРИКОВ², Н.В. ЦУРИКОВА², И.К. ЛАЗАРЕНКО²

Изучено содержание ^{137}Cs в лишайнике *Xanthoria parietina* зоны планирования срочных защитных мероприятий территории воздействия Белорусской АЭС в течение 2022–2024 гг. Среднее значение содержания ^{137}Cs в лишайнике *Xanthoria parietina* за три года изучения составило 42,4 Бк/кг возд. сухой массы. На основе полученных данных построена карта-схема содержания ^{137}Cs в лишайнике *Xanthoria parietina* в зоне планирования срочных защитных мероприятий территории воздействия Белорусской АЭС. Результаты исследований могут быть использованы для совершенствования системы прогнозирования и предупреждения чрезвычайных ситуаций, повышения уровня радиационной безопасности работников и населения, при организации радиационного мониторинга и радиационного контроля зоны планирования срочных защитных мероприятий территории воздействия Белорусской АЭС.

Ключевые слова: Белорусская атомная станция, радиоактивность, лишайники, мониторинг, лишеноиндикация.

The ^{137}Cs content in lichen *Xanthoria parietina* at the urgent protective action planning zone of the Belarusian Nuclear Power Plant impact area was studied during 2022–2024. The average ^{137}Cs content in *Xanthoria parietina* lichen over the three years of study was 42.4 Bq/kg of dry air mass. Based on the obtained data, distributional maps of ^{137}Cs content in *Xanthoria parietina* within the study area were constructed. The research results can be used to improve the emergency forecasting and prevention system, increase the level of radiation safety for workers and the population, as well as organizing radiation monitoring and radiation control in the urgent protective action planning zone of the Belarusian Nuclear Power Plant impact area.

Keywords: Belarusian Nuclear Power Plant, radioactivity, lichens, monitoring, lichen indication.

Введение. Влияние предприятий промышленности и энергетики на состояние окружающей среды обычно оценивают по сумме и составу выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, водоемы, почву. Однако использование данных только химических и физико-химических методов анализа является не вполне эффективным. Для интегральной оценки техногенной нагрузки на окружающую среду используются методы биотестирования, основанные на регистрации ответных реакций живых организмов на одновременное или последовательное действие всех видов загрязнения. Ценными организмами для осуществления биомониторинга являются лишайники, обладающие способностью поглощать загрязняющие вещества из воздуха и осадков и в гораздо меньшей степени – из субстрата произрастания [1], [2].

Лишайники играют важную роль в мониторинге и оценке состояния окружающей среды при анализе воздействия промышленных выбросов. Они проявляют чувствительность к целому ряду поллютантов и отражают качество воздуха, а также изменение климатических факторов. Лишайники позволяют отслеживать динамику накопления загрязняющих веществ, поэтому являются наиболее чувствительными биоиндикаторами загрязнения воздуха на региональном уровне [1]–[3].

В силу своих специфических особенностей (длительная продолжительность жизни, медленная метаболическая активность), лишайники накапливают радионуклиды, выпадающие с осадками из атмосферы, что позволяет их использовать в качестве биоиндикаторов радиоактивного загрязнения [4]. Лишайники обладают преимуществами при определении выпадаю-

щих из атмосферы радионуклидов, такими как большое соотношение поверхности к объему и отсутствие корней. Со временем они сохраняют довольно однородную морфологию, что позволяет вести учет истории поступления радионуклидов в окружающую среду [5], [6].

Для получения полной и детальной информации об уровнях загрязнения экосистемы, а также прогнозирования обстановки в условиях интенсивного ведения сельского хозяйства на территории, прилегающей к Белорусской АЭС, в дополнение к действующей системе мониторинга [7] были созданы стационарные площадки для осуществления долгосрочного экологического мониторинга состояния атмосферного воздуха в зоне планирования срочных защитных мероприятий территории воздействия Белорусской АЭС на основе метода лишеноиндикации [8], [9]. Разработанная система является надежной основой для решения комплексной задачи эффективного управления территорией, прилегающей к Белорусской АЭС.

В настоящей работе приводятся первые данные о динамике содержания ^{137}Cs в лишайнике *Xanthoria parietina* (L.) Th. Fr. зоны планирования срочных защитных мероприятий территории воздействия Белорусской АЭС.

Материал и методы исследования. Радиоэкологическая обстановка на прилегающей к Белорусской АЭС территории характеризуется следующими показателями. Плотность загрязнения почвы ^{137}Cs составляет менее 2 кБк/м², ^{90}Sr – менее 1 кБк/м². По этим показателям район сопоставим с остальной территорией республики, загрязненной только глобальными выпадениями от испытаний ядерного оружия (с плотность загрязнения по ^{137}Cs менее 2,6 кБк/м² и по ^{90}Sr менее 1,8 кБк/м²). Мощность эквивалентной дозы в воздухе составляет менее 0,15 мкЗв/ч и полностью определяется естественным радиоактивным фоном. Содержание ^{137}Cs в продукции сельского хозяйства в настоящее время не превышает значения минимально детектируемой активности (менее 3 Бк/кг). Удельная активность ^{90}Sr в продукции сельскохозяйственного производства не превышает 1 Бк/кг, что в десятки раз ниже по сравнению с действующими нормативами.

В целом, по величинам содержания ^{137}Cs и ^{90}Sr в компонентах агроэкосистем исследуемая территория не отличается от сопредельных районов, загрязненных только глобальными выпадениями в результате испытаний ядерного оружия.

Для осуществления долгосрочного экологического мониторинга состояния окружающей среды в зоне планирования срочных защитных мероприятий территории воздействия Белорусской АЭС с учетом особенностей встречаемости и биомассы лишайника *Xanthoria parietina* нами было заложено 16 точечных реперных площадок для отбора проб лишайников (таблица 1).

Таблица 1 – Расположение точечных реперных площадок

№	Локалитет	Расстояние и направление от БелАЭС	Координаты
1	аглогородок Гервяты	7,5 км на юг	54°41'15.9"N, 26°08'51.2"E
2	аглогородок Ворняны	5,5 км на юго-запад	54°43'27.2"N, 26°00'47.8"E
3	поселок Гоza	3,5 км на северо-запад	54°46'35.2"N, 26°01'49.8"E
4	поселок Швейляны	4,1 км на восток	54°44'39.9"N, 26°09'55.5"E
5	лесной массив, 500 м на северо-запад от д. Попишки	3 км на юг	54°43'16.3"N, 26°06'31.4"E
6	насаждения в д. Мацки	8 км на юг	54°40'05.8"N, 26°06'52.6"E
7	лесной массив 1 км на юго-восток от д. Ольгиняны	12 км на юг	54°37'45.5"N, 26°05'49.3"E
8	лесной массив	3 км на запад	54°45'12.0"N, 26°02'34.1"E
9	лесной массив 1 км на юго-запад от д. Ворона	8 км на запад	54°44'54.1"N, 25°56'38.1"E
10	лесополоса 0,3 км на юг от д. Трокеники	12 км на запад	54°44'47.4"N, 25°53'51.9"E
11	лесной массив 0,6 на юг от д. Мешляны	3 км на север	54°47'25.5"N, 26°05'45.8"E
12	насаждения в д. Заборцы	9 км на север	54°49'03.6"N, 26°06'49.9"E
13	насаждения 1 км на север от д. Подольцы	12 км на север	54°52'44.9"N, 26°04'35.7"E
14	лесной массив 1 км на восток от д. Валайкуны	3 км на восток	54°45'38.2"N, 26°09'10.0"E
15	лесной массив 0,1 км на юг от д. Кирели	9 км на восток	54°44'53.9"N, 26°13'17.2"E
16	насаждения в д. Шимонели	12 км на восток	54°46'11.9"N, 26°19'21.1"E

Точки отбора образцов лишайников, а также расположение закладываемых точечных реперных площадок фиксировали в системе координат WGS 84 с использованием навигатора Garmin GPSMap 62s.

Отбор проб лишайников *Xanthoria parietina* осуществляли 29 и 30 октября 2022 г., 12 и 13 августа 2023 г. и 25 и 26 августа 2026 г. Отбор проб проводили с четырех экспозиций ствола форофита на высоте 1–2 м. Лишайники отбирали с древесных пород одного вида и возраста в пределах точечной реперной площадки. В абсолютном большинстве площадок субстратом произрастания лишайника выступала осина (*Populus tremula* L.). Слоевища укладывали в бумажные конверты и сушили до воздушно-сухого состояния. Измерение концентраций ^{137}Cs в образцах лишайников проводили на базе лаборатории проблем почвоведения и реабилитации антропогенно нарушенных лесных земель ГНУ «Институт леса Национальной академии наук Беларуси», аккредитованной государственным предприятием «Белорусский государственный центр аккредитации» на соответствие требованиям ГОСТ ISO/IEC 17025.

Результаты и их обсуждение. Результаты определения содержания ^{137}Cs в отобранных образцах лишайника *Xanthoria parietina* зоны планирования срочных защитных мероприятий территории воздействия Белорусской АЭС в 2022, 2023 и 2024 годах представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Содержание ^{137}Cs в лишайнике *Xanthoria parietina* в зоне воздействия БелАЭС, Бк/кг возд-сух. массы

№	Направление от БелАЭС / локалитет	Содержание ^{137}Cs Бк/кг		
		2022	2023	2024
1	3 км на юг	17,4	44,5	48,0
2	8 км на юг	17,9	46,9	41,0
3	12 км на юг	65,8	44,0	22,6
4	3 км на запад	19,7	41,9	32,5
5	8 км на запад	19,5	–	44,8
6	12 км на запад	23,4	–	32,0
7	3 км на север	47,6	35,2	45,2
8	9 км на север	111,8	32,0	24,5
9	12 км на север	24,1	132,1	31,3
10	3 км на восток	86,7	37,3	38,4
11	9 км на восток	25,1	37,2	42,7
12	12 км на восток	18,1	41,9	61,6
13	а.г. Ворняны	17,8	–	49,5
14	д. Гоза	60,6	30,6	29,3
15	а.г. Гервяты	67,4	–	29,7
16	д. Швейляны	–	–	37,1
Среднее значение		41,5	47,6	38,1

Среднее значение содержания ^{137}Cs в лишайнике *Xanthoria parietina* за три года изучения составило 42,4 Бк/кг возд. сухой массы. Максимальные значения содержания ^{137}Cs выявлены в северном направлении в пробах в 1 км на север от д. Подольцы и вблизи д. Заборцы и составили 132,1 и 111,8 Бк/кг возд. сухой массы соответственно. На основе полученных данных построены карты-схемы содержания ^{137}Cs в лишайнике *Xanthoria parietina* в зоне планирования срочных защитных мероприятий территории воздействия Белорусской АЭС (рисунок 1).

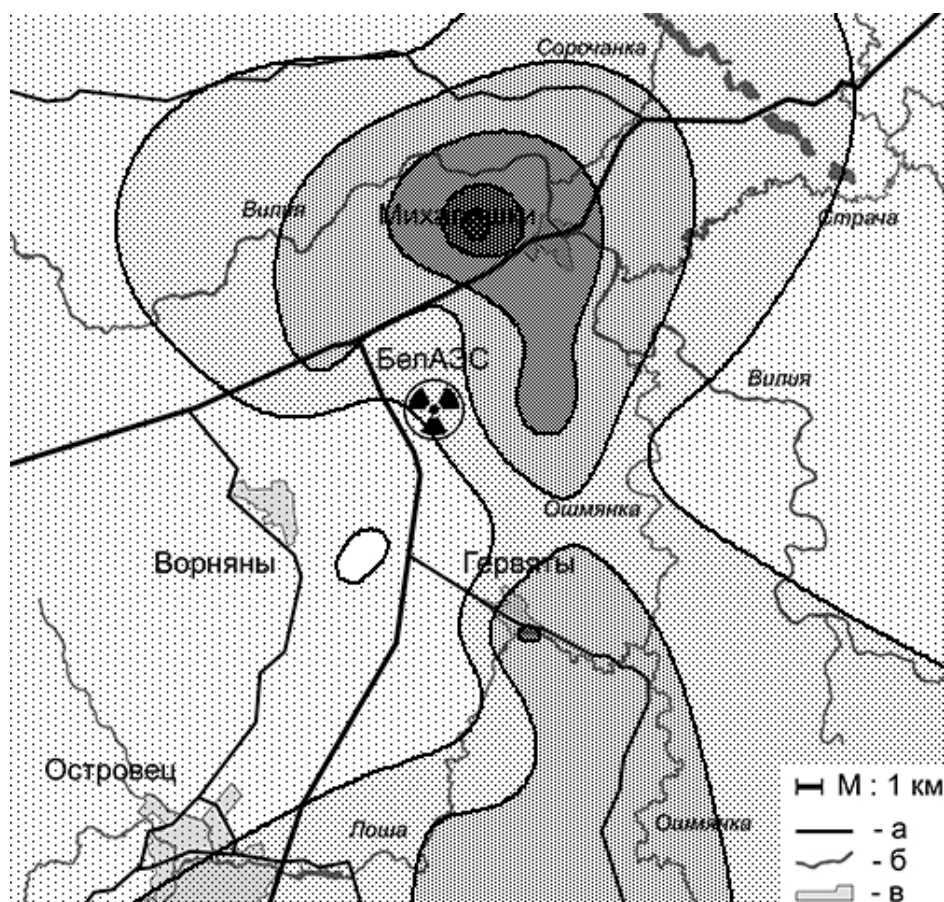


Рисунок 1 – Карта-схема распределения содержания ^{137}Cs (Бк/кг возд. сухой массы) в лишайнике *Xanthoria parietina* в зоне планирования срочных защитных мероприятий территории воздействия Белорусской АЭС (по данным 2022 г. исследований): а – автомагистрали, б – реки, в – территории населенных пунктов

Для сопоставления полученных результатов было проведено определение содержания ^{137}Cs в эпифитном лишайнике *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl., отобранном на территории Национального парка (НП) «Беловежская пуща», а также в эпифитных лишайниках *Evernia prunastri* (L.) Ach., *Parmelia sulcata* Tayl. и *Ramalina pollinaria* (Westr.) Ach., отобранных на территории учебно-научной базы (УНБ) учреждения образования «Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины» «Ченки». Результаты приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Содержание ^{137}Cs в лишайниках, отобранных на территории НП «Беловежская пуща» (Каменецкий район) и УНБ «Ченки» (Гомельский район) в 2021 г.

№	Вид лишайника	Место отбора	Удельная активность Бк/кг
1	<i>Hypogymnia physodes</i> (L.) Nyl.	НП «Беловежская пуща»	11,1–88,4
2	<i>Evernia prunastri</i> (L.) Ach.	УНБ «Ченки»	60,9–169,9
3	<i>Parmelia sulcata</i> Tayl.	УНБ «Ченки»	84,3–101,9
4	<i>Ramalina pollinaria</i> (Westr.) Ach.	УНБ «Ченки»	118,8–506,0

Таким образом, можно заключить, что зона планирования срочных защитных мероприятий территории воздействия Белорусской АЭС является достаточно чистой.

Заключение. Полученные результаты имеют ценность как для Министерства по чрезвычайным ситуациям и Минприроды, так и для Министерства лесного хозяйства. Результаты исследований могут быть использованы для совершенствования системы прогнозирования и предупреждения чрезвычайных ситуаций, повышения уровня радиационной безопасности работников и населения, при организации радиационного мониторинга и радиационного контроля зоны планирования срочных защитных мероприятий территории воздействия Белорусской АЭС.

Литература

1. Бязров, Л. Г. Лишайники в экологическом мониторинге / Л. Г. Бязров. – М. : Научный мир, 2002. – 336 с.
2. Цуриков, А. Г. Лишайники юго-востока Беларуси / А. Г. Цуриков. – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2013. – 276 с.
3. Interplay of heavy metal accumulation, physiological responses, and microbiome dynamics in lichens: insights and future directions / M. Thakur, A. Bhatt, V. Sharma, V. Mathur // *Environmental Monitoring and Assessment*. – 2024. – Vol. 196. – P. 926.
4. Bryophytes and lichens as fallout originated radionuclide indicators in the Svalbard archipelago (High Arctic) / M. Saniewski [et al.] // *Polar Science*. – 2020. – Vol. 25. – P. 100536.
5. Dalvand, A. Introduce lichen *Lepraria incana* as biomonitor of Cesium-137 from Ramsar, northern Iran / A. Dalvand, A. Jahangiri, J. Iranmanesh // *Journal of Environmental Radioactivity*. – 2016. – Vol. 160. – P. 36–41.
6. Бязров, Л. Г. Лишайники – индикаторы радиоактивного загрязнения / Л. Г. Бязров. – М. : Издательство КМК, 2005. – 476 с.
7. Обоснование инвестирования в строительство атомной электростанции в Республике Беларусь. Книга 11. Оценка воздействия на окружающую среду. 1588-ПЗ-ОИ4. Часть 8. Отчет об ОВОС. Часть 8.2. Текущее состояние окружающей среды. Пояснительная записка (редакция 06.07.2010 г.). – Минск : Белнипиэнергопром, 2010. – 183 с.
8. Цуриков, А. Г. Выбор точечных реперных площадок в зоне планирования срочных защитных мероприятий территории воздействия Белорусской АЭС с целью лишеноиндикации / А. Г. Цуриков, В. С. Аверин // *Радиобиология и экологическая безопасность – 2022 : материалы Междунар. науч. конф., Гомель, 26–27 мая 2022 г. / ГНУ «Институт радиобиологии НАНБ»; редкол.: И. А. Чешик (гл. ред.) [и др.]*. – Минск : ИВЦ Минфина, 2022. – С. 168–170.
9. Аверин, В. С. Создание системы лишеномониторинга для оценки распределения неорганических поллютантов в зоне планирования срочных защитных мероприятий территории воздействия Белорусской АЭС / В. С. Аверин, А. Г. Цуриков, Н. В. Цурикова, И.В. Грищенко // *Актуальные проблемы медицины : сб. науч. ст. Респ. науч.-практ. конф. с междунар. участием, Гомель, 10 ноября 2023 г. / М-во здравоохранения Респ. Беларусь, ГомГМУ ; редкол.: И. О. Стома [и др.]*. – Гомель : ГомГМУ, 2023. – С. 118–120.

¹Гомельский государственный
медицинский университет

²Гомельский государственный
университет имени Франциска Скорины

Поступила в редакцию 20.12.2025