

СОДЕРЖАНИЕ НЕКОТОРЫХ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ЛИШАЙНИКАХ ЗОНЫ ПЛАНИРОВАНИЯ СРОЧНЫХ ЗАЩИТНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ БЕЛОРУССКОЙ АЭС

В. С. Аверин^{1,2}, А. Г. Цуриков^{1,2}, Н. В. Цурикова²

¹Гомельский государственный медицинский университет, г. Гомель, Республика Беларусь, tsurykau@gmail.com

²Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины, г. Гомель, Республика Беларусь

Аннотация. В статье рассматривается содержание тяжелых металлов в лишайниках, произрастающих в зоне планирования срочных защитных мероприятий Белорусской АЭС. Исследование направлено на использование лишайников как биоиндикаторов для оценки уровня загрязнения экосистемы. Образцы лишайников *Xanthoria parietina* были отобраны в 2022 году в пределах заложенных точечных реперных площадок в населенных пунктах (а.г. Гервяты, а.г. Ворняны, пос. Го́за, пос. Швейляны), а также лесных массивах на расстоянии 2–3 км (4 площадки), 6–9 км (4 площадки) и 12–14 км (4 площадки) от станции в северном, восточном, южном и западном направлениях. Отбор проб слоевищ лишайников *Xanthoria parietina* для изучения содержания неорганических поллютантов в лишайниках проводили с четырех экспозиций ствола на высоте 1–2 м. Измерение концентраций Zn, Cd, Pb и Cu проводились инверсионным вольтамперометрическим методом. Среднее значение содержания Pb в лишайнике *Xanthoria parietina* составило $0,87 \pm 0,12$ мг/кг возд. сухой массы, Cd – $0,054 \pm 0,003$ мг/кг возд. сухой массы, Cu – $8,48 \pm 1,17$ мг/кг возд. сухой массы, Zn – $27,0 \pm 2,9$ мг/кг возд. сухой массы. Сравнение содержания тяжелых металлов в лишайниках, собранных в зоне воздействия БелАЭС и в городе Гомеле, показало, что уровень Cd и Pb в Гомеле в 4,4–6,7 раз выше, чем в зоне Белорусской АЭС. Содержание Zn в лишайниках г. Гомеля превышает содержание этого элемента в лишайниках зоны воздействия БелАЭС в 1,9 раза. Концентрации Cu в лишайниках, отобранных в пределах обоих изучаемых территорий, примерно одинаковы. Таким образом, можно заключить, что зона планирования срочных защитных мероприятий территории воздействия Белорусской АЭС является достаточно чистой.

Ключевые слова: лишайник, биомониторинг, окружающая среда, аккумулятивное, тяжелые металлы, Белорусская АЭС

Введение. Для мониторинга уровня загрязнения экосистем зоны планирования срочных защитных мероприятий территории Белорусской АЭС используются системы контроля поллютантов в воде, почве и воздухе [1]. Однако эти методы не могут в полном объеме показать антропогенную нагрузку на экосистему, и поэтому для интегральной оценки влияния техногенной нагрузки целесообразно дополнить вышеперечисленные методы компонентом биоиндикации.

Биоиндикационные свойства лишайников активно изучаются уже более полувека. Флористическое разнообразие (число видов на пробной площади), видовая насыщенность (среднее число видов на стволе), высота поднятия лишайников по стволу, учет проективного покрытия видом субстрата произрастания, а также изменения в генеративной сфере явились количественными показателями эпифитных лишайниковых группировок, применимыми для индикационных целей [2]. Другим широко используемым в индикационных и мониторинговых целях свойством лишайников является их высокая аккумулятивная способность [3; 4]. Наиболее часто анализируется накопление талломом тяжелых металлов в городах или в районах воздействия крупных промышленных предприятий. Концентрации загрязнителей в таких лишайниках гораздо выше, чем в контрольных областях, в качестве которых выступают сельская местность или лесные массивы [5–7]. Отмечается, что от удаленности слоевища от источника загрязнения может зависеть также степень поглощения лишайником поллютантов [8–10]. При этом на перспективность использования лишайников при мониторинге урбоэкосистем указывает тот факт, что, несмотря на отсутствие или редкость многих лишайников в промышленных районах, представители отдельных видов и родов лучше развиваются, а, порой, бывают приурочены именно к экологически «неблагополучным» территориям [11].

Таким образом, использование лишайников с целью осуществления индикации и мониторинга состояния окружающей среды в зоне планирования срочных защитных мероприятий территории воздействия Белорусской АЭС в дополнение к существующей системе оценок воздействия атомной электростанции на окружающую среду [1] представляется актуальным.

Материалы и методы. Отбор образцов лишайников *Xanthoria parietina* осуществляли 29 и 30 октября 2022 года в зоне планирования срочных защитных мероприятий территории воздействия Белорусской АЭС. Лишайники отбирали со всех доступных субстратов произрастания (корка деревьев и кустарников, обработанная и гниющая древесина, почва, силикатные и карбонатные каменные породы, в т.ч. и антропогенного происхождения, металл, резина) в пределах точечных реперных площадок [12; 13]. Заложенные точечные реперные площадки располагаются в пределах населенных пунктов (а.г. Гервяты, а.г. Ворняны, пос. Гоза, пос. Кирели, пос. Чехи, пос. Швейляны), а также лесных массивов на расстоянии 2–3 км (4 площадки), 6–9 км (4 площадки) и 12–14 км (4 площадки) от станции в северном, восточном, южном и западном направлениях с учетом точек контроля радионуклидов в аэрозолях в приземном атмосферном воздухе, указанных в ОВОС.

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 слоевищ лишайников *Xanthoria parietina* для изучения содержания неорганических поллютантов в лишайниках проводили с четырех экспозиций ствола на высоте 1–2 м. Слоевища укладывали в бумажные конверты и сушили до воздушно-сухого состояния.

Измерение концентраций Zn, Cd, Pb и Cu проводились инверсионным вольтамперометрическим методом с использованием полярографа АВС 1.1 с электрохимическим датчиком «Модуль ЕМ-04» на базе кафедры химии биологического факультета Гомельского государственного университета имени Франциска Скорины.

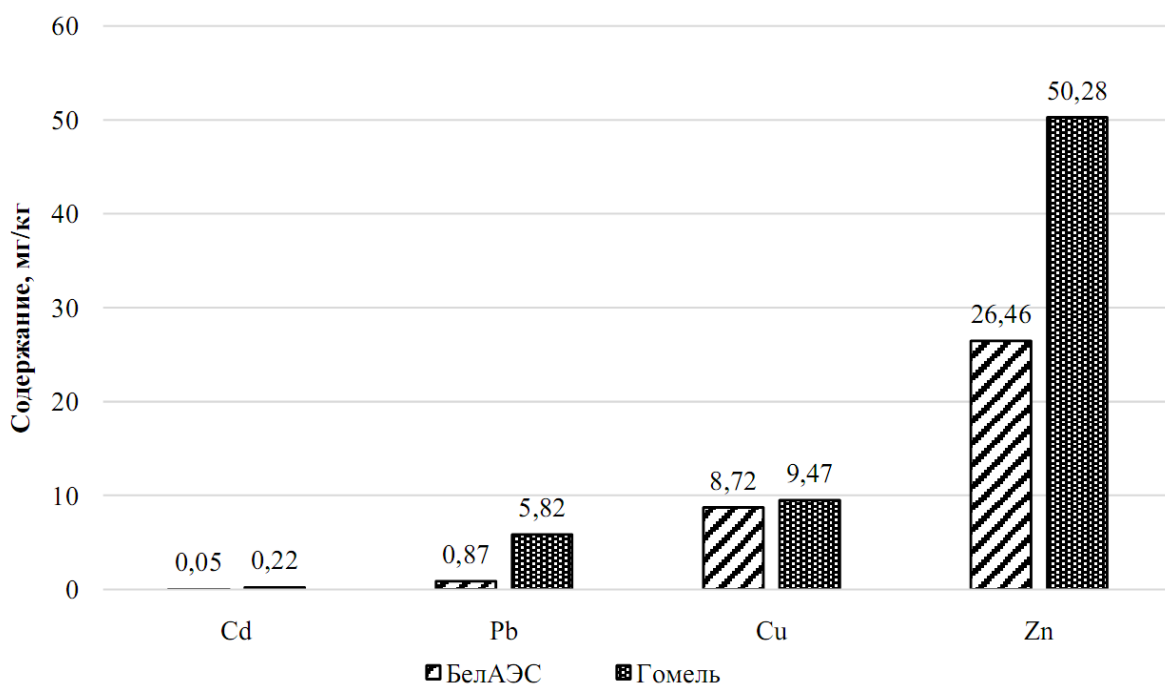
Результаты исследования и их обсуждение. Проведено измерение содержания Cd, Pb, Zn и Cu в отобранных образцах лишайника *Xanthoria parietina* (таблица).

Содержание Cd, Pb, Zn и Cu в лишайнике *Xanthoria parietina* в зоне воздействия БелАЭС, мг/кг воздушно-сухой массы

№	Направление от БелАЭС	Локалитет	Координаты	Субстрат	Содержание, мг/кг			
					Pb	Cu	Zn	Cd
1	3 км Ю	лесной массив 500 м СЗ д. Попишки	54°43'16.3" N, 26°06'31.4" E	Осина	0,36	6,85	23,01	< 0,05
2	8 км Ю	насаждения в д. Мацки	54°40'05.8" N, 26°06'52.6" E	Клен	1,05	10,92	35,53	< 0,05
3	12 км Ю	лесной массив 1 км ЮВ д. Ольгиняны	54°37'39.5" N, 26°05'50.5" E	Осина	0,87	15,79	15,89	< 0,05
4	3 км З	лесной массив	54°45'12.0" N, 26°02'34.1" E	Ива	0,99	1,82	26,09	< 0,05
5	8 км З	лесной массив 1 км ЮЗ д. Ворона	54°44'54.1" N, 25°56'38.1" E	Осина	0,38	14,63	56,68	0,09
6	12 км З	лесополоса 0,3 км Ю д. Трокеники	54°44'47.4" N, 25°53'51.9" E	Осина	1,83	8,93	16,17	0,09
7	3 км С	лесной массив 0,6 Ю д. Мешляны	54°47'23.9" N, 26°05'48.5" E	Осина	0,27	2,10	24,57	< 0,05
8	8 км С	насаждения в д. Заборцы	54°49'03.6" N, 26°06'49.9" E	Ива	1,33	13,10	16,04	< 0,05
9	12 км С	насаждения в д. Подольцы	54°51'49.4" N, 26°05'51.3" E	Груша	0,99	13,11	39,16	< 0,05
10	3 км В	лесной массив 1 км В д. Валайкуны	54°45'38.2" N, 26°09'10.0" E	Осина	0,73	8,68	20,89	< 0,05
11	8 км В	лесной массив 0,1 км Ю д. Кирели	54°44'53.8" N, 26°13'16.9" E	Осина	1,40	10,56	32,32	< 0,05
12	12 км В	насаждения в д. Шимонели (2 км С д. Нестанишки)	54°46'12.1" N, 26°19'21.1" E	Клен	0,67	7,08	25,74	< 0,05

Среднее значение содержания Pb в лишайнике *Xanthoria parietina* составило $0,87 \pm 0,12$ мг/кг возд. сухой массы, Cd – $0,054 \pm 0,003$ мг/кг возд. сухой массы, Cu – $8,48 \pm 1,17$ мг/кг возд. сухой массы, Zn – $27,0 \pm 2,9$ мг/кг возд. сухой массы. Максимальное содержание Cu выявлено в пробе вблизи д. Ольгиняны и составило 15,79 возд. сухой массы. Максимальные значения концентраций Cd, Pb и Zn были выявлены в западном направлении от БелАЭС и составили 0,09 мг/кг (д. Трокеники), 1,83 мг/кг (д. Трокеники) и 56,6 мг/кг (д. Ворона), соответственно. Минимальное содержание тяжелых металлов выявили на территории населенных пунктов – 0,27 мг/кг для Pb в а.г. Герваты и 13,0 мг/кг для Zn в а.г. Ворняны.

При сопоставлении среднего содержания Cd, Pb, Cu и Zn в лишайнике *Xanthoria parietina* в зоне воздействия БелАЭС и в г. Гомеле [14; 15] можно отметить, что содержание Cd и Pb в лишайниках, отобранных на территории г. Гомеля, превышает таковое в талломах, отобранных в зоне планирования срочных защитных мероприятий территории воздействия Белорусской АЭС, в 4,4–6,7 раз (рисунок). Содержание Zn в лишайниках г. Гомеля превышает содержание этого элемента в лишайниках зоны воздействия БелАЭС в 1,9 раза. При этом концентрации Cu в лишайниках, отобранных в пределах обоих изучаемых территорий, примерно одинаковы.



Среднее содержание Cd, Pb, Cu и Zn в лишайнике *Xanthoria parietina* в зоне воздействия БелАЭС и в г. Гомеле

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

Заключение. Определено распределение ^{137}Cs , Cd, Cu, Pb и Zn в зоне планирования срочных защитных мероприятий территории воздействия Белорусской АЭС. Можно заключить, что зона планирования срочных защитных мероприятий территории воздействия Белорусской АЭС является достаточно чистой. На основе полученных данных будут построены карты-схемы содержания ^{137}Cs , Cd, Cu, Pb и Zn в лишайнике *Xanthoria parietina* в зоне планирования срочных защитных мероприятий территории воздействия Белорусской АЭС.

Литература

1. 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.
2. Deruelle, S. Les lichens et la pollution atmosphérique / S. Deruelle // Bull. Écol. – 1978. – Vol. 9 (2). – P. 87–128.
3. Бязров, Л. Г. Лишайники в экологическом мониторинге / Л. Г. Бязров. – М. : Научный мир, 2002. – 336 с.
4. Цуриков, А. Г. Лишайники юго-востока Беларуси / А. Г. Цуриков. – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2013. – 276 с.

5. Accumulation of aluminum in *Hypogymnia physodes* in the surroundings of a Finish sulphite-cellulose factory / A. Kytömaa [et al.] // Water, Air, and Soil Pollut. – 1995. – Vol. 81 (3–4). – P. 401–409.
6. Scott, M. G. Morphological and chemical studies of epiphytic lichens from high elevation cloud forests as indicators of atmospheric pollution / M. G. Scott, T. C. Hutchinson // Amer. J. Bot. – 1989. – Vol. 76 (6). – P. 13–14.
7. Wetmore, C. M. Lichens and air quality in Cuyahoga valley National Recreation Area, Ohio / C. M. Wetmore // The Bryologist. – 1989. – Vol. 92 (3). – P. 273–281. <https://doi.org/10.2307/3243393>
8. Кокова, З. Б. Содержание тяжелых металлов в талломах лишайников / З. Б. Кокова, Л. Х. Слонов, Т. Л. Слонов // Биологическое разнообразие Кавказа : тезисы докладов 3 Международной конференции, Нальчик, 2001 г. / Кабардино-Балк. гос. ун-т им. Х. М. Бербекова, Ком. природ. ресурсов по КБР; редкол.: С. Б. Шагапсоев [и др.]. – Нальчик, 2001. – С. 146–147.
9. Grace, B. Uptake of gaseous sulphur dioxide by the lichen *Cladonia rangiferina* / B. Grace, T. J. Gillespie, K. J. Puckett // Can. J. Bot. – 1985. – Vol. 63 (4). – P. 797–805.
10. Roberts, B. A. Lichens as indicators of fluoride emission from a phosphorus plant, Long Harbor, Newfoundland, Canada / B. A. Roberts, L. K. Thompson // Can. J. Bot. – 1980. – Vol. 58 (20). – P. 2218–2228.
11. Rogers, R. W. The «city-effect» on lichens in the Brisbane area / R. W. Rogers // Search. – 1977. – Vol. 8 (3). – P. 75–77.
12. 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. (26–27 мая 2022 г., Гомель) / ГНУ «Институт радиобиологии НАНБ»; редкол.: И. А. Чешик (гл. ред.) [и др.]. – Минск : ИВЦ Минфина, 2022. – С. 168–170.
13. Создание системы лишеномониторинга для оценки распределения неорганических поллютантов в зоне планирования срочных защитных мероприятий территории воздействия Белорусской АЭС / В. С. Аверин [и др.] // Актуальные проблемы медицины : сб. науч. ст. Респ. науч.-практ. конф. с междунар. участием (Гомель, 10 нояб. 2023 г.) / М-во здравоохранения Респ. Беларусь, ГомГМУ; редкол.: И. О. Стома [и др.]. – Гомель : ГомГМУ, 2023. – С. 118–120.
14. Цуриков, А. Г. Лишайники юго-востока Беларуси / А. Г. Цуриков. – Гомель : ГТУ им. Ф. Скорины, 2013. – 276 с.
15. Цуриков, А. Г. Содержание тяжелых металлов в лишайниках г. Гомеля (Беларусь) / А. Г. Цуриков, О. М. Храмченкова // Перспективы развития и проблемы современной ботаники: материалы II (IV) Всероссийской молодежной научно-практической конференции, Новосибирск 5–8 окт. 2010 г. / ЦСБС СО РАН, Новосибирское отделение РБО, Совет научной молодежи СО РАН; отв. ред. Ю. С. Отмахов. – Новосибирск, 2010. – С. 202–203.

CONTENT OF SOME HEAVY METALS IN LICHENS IN THE ZONE OF PLANNING URGENT PROTECTIVE ACTIONS OF THE BELARUSIAN NPP

V. S. Averin^{1,2}, A. H. Tsurukau^{1,2}, N. V. Tsurikova²

¹Gomel State Medical University, Gomel, Republic of Belarus, tsurykau@gmail.com

²Francisk Skorina Gomel State University, Gomel, Republic of Belarus

Abstract. The article considers the content of heavy metals in lichens growing in the zone of planning urgent protective actions of the Belarusian NPP. The study is aimed at using lichens as bioindicators to assess the level of ecosystem pollution. Samples of *Xanthoria parietina* lichens were collected in 2022 within the boundaries of established point reference sites in populated areas (Gervyaty, Vornany, Goza, Shveylyany), as well as in forest areas at a distance of 2–3 km (4 sites), 6–9 km (4 sites) and 12–14 km (4 sites) from the plant in the northern, eastern, southern and western directions. Sampling of *Xanthoria parietina* thalli was carried out from four exposures of the tree trunk at a height of 1–2 m. Measurement of Zn, Cd, Pb and Cu concentrations were carried out using the stripping voltammetric method. The average content of Pb in *Xanthoria parietina* was 0.87 ± 0.12 mg/kg air dry weight, Cd – 0.054 ± 0.003 mg/kg air dry weight, Cu – 8.48 ± 1.17 mg/kg air dry weight, Zn – 27.0 ± 2.9 mg/kg air dry weight. Comparison of heavy metal content in lichens collected the zone of planning urgent protective actions of the Belarusian NPP and in the city of Gomel showed that the level of Cd and Pb in Gomel is 4.4–6.7 times higher than in the Belarusian NPP zone. The content of Zn in lichens in Gomel exceeds the content of this element in lichens in the impact zone of the Belarusian NPP by 1.9 times. The concentrations of Cu in lichens collected within both study areas are approximately the same. Thus, it can be concluded that the zone of planning urgent protective actions of the Belarusian NPP is sufficiently clean.

Keywords: lichen, biomonitoring, environment, accumulation, heavy metals, Belarusian NPP