

К изучению особенностей накопления тяжёлых металлов во мхах Самарской области

To the study of the features of the heavy metals deposition in the mosses of the Samara region

Соскина Д. В., Богданова Я. А., Прохорова Н. В.

Soskina D. V., Bogdanova Ya. A., Prokhorova N. V.

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С. П. Королёва, г. Самара, Россия
E-mails: dianasoskina@gmail.com; bogdanova.ya@yandex.ru; natali.prokhorova.55@mail.ru
Samara University, Samara, Russia

Реферат. Изучены особенности аккумуляции мхами тяжёлых металлов из атмосферы на выявленной фоновой территории (Красносамарский лесной массив) для Самарской области. Вид *Pleurozium schreberi* показал наивысшую металлоаккумулирующую способность, *Brachythecium salebrosum* – среднюю, *Dicranum polysetum* – наименьшую. Вид *Climacium dendroides* проявил большую видоспецифичность в аккумуляции тяжёлых металлов среди изучаемых видов, что может быть связано с его водным режимом. Сравнительный анализ методом «отпечатка пальцев» среднего содержания тяжёлых металлов для мхов Красносамарского лесного массива по Маркерту показал отрицательное отклонение по отношению к показателю среднего содержания тяжёлых металлов в мохообразных Самарской области, что говорит об отсутствии атмосферных источников загрязнения тяжёлыми металлами на изучаемой территории. Мхи, произрастающие в Красносамарском лесном массиве, возможно использовать в качестве референтных видов для региона. Выявленный повышенный уровень накопления ряда элементов (Cr, V, Co, Ni, As, Fe, Zn) по сравнению с референтным видом мха *Pleurozium schreberi* для Западной Европы демонстрирует биогеохимические особенности Самарской области, что подтверждает необходимость использования в качестве референтных значений показатели растений, произрастающих в регионе.

Ключевые слова. Метод «отпечаток пальцев», мхи, Самарская область, тяжёлые металлы, *Brachythecium salebrosum*, *Climacium dendroides*, *Dicranum polysetum*, *Pleurozium schreberi*.

Summary. The features of the deposition of heavy metals by mosses from the atmosphere in the identified background area (Krasnosamarsky forest) for the Samara region were studied. *Pleurozium schreberi* showed the highest metal accumulating capacity, *Brachythecium salebrosum* – average, *Dicranum polysetum* – the lowest. *Climacium dendroides* showed high species specificity in the accumulation of heavy metals among the studied species, which may be related to its water regime. A comparative analysis of the chemical “fingerprint” of the average content of heavy metals for the mosses of the Krasnosamarsky forest area according to Markert revealed a negative deviation from the average content of heavy metals in the bryophytes of the Samara region, which meant that there were no atmospheric sources of heavy metal pollution in the study area. Mosses growing in the Krasnosamarsky forest can be used as reference species for the region. The revealed increased level of accumulation of a number of elements (Cr, V, Co, Ni, As, Fe, Zn) demonstrated the biogeochemical features of the Samara region in comparison with the reference moss species *Pleurozium schreberi* in Western Europe. This also indicates the need to use indicators of species growing in the region as reference values.

Key words. *Brachythecium salebrosum*, chemical fingerprinting, *Climacium dendroides*, *Dicranum polysetum*, heavy metals, mosses, *Pleurozium schreberi*, Samara region.

На территории Самарской области расположено более 600 промышленных предприятий и хорошо сформированная транспортная инфраструктура, которые являются техногенными источником полиметаллического загрязнения природной среды региона, включая атмосферу. В этой связи большую значимость имеют мониторинговые исследования полиметаллического загрязнения атмосферного воздуха с использованием организмов-биомониторов. В качестве таких организмов в нашей стране и за рубежом используются представители мохообразных, благодаря их физиологическим и экологическим особенностям. В Самарской области подобные исследования были начаты в 1991 г. (Прохорова и др., 1998), но они не были систематическими и охватывали только техногенно трансформированные территории, что не позволило установить фоновые уровни накопления тяжёлых металлов в фитомассе

мхов, необходимые для осуществления мониторинга. В связи с этим для региона является актуальным выявление видов мхов-биомониторов и фоновых территорий.

Целью данного исследования было выявление особенностей накопления тяжёлых металлов разными видами мхов, произрастающих на фоновой территории в Самарской области.

Исследования проводились на территории Самарской области в Красносамарском лесном массиве, который располагается в долине реки Самары в пределах богато-разнотравно-типчаково-ковыльных степей в удалении от промышленных объектов. В непосредственной близости от массива проходит только одна автотрасса регионального значения (36К-238) (рис. 1).

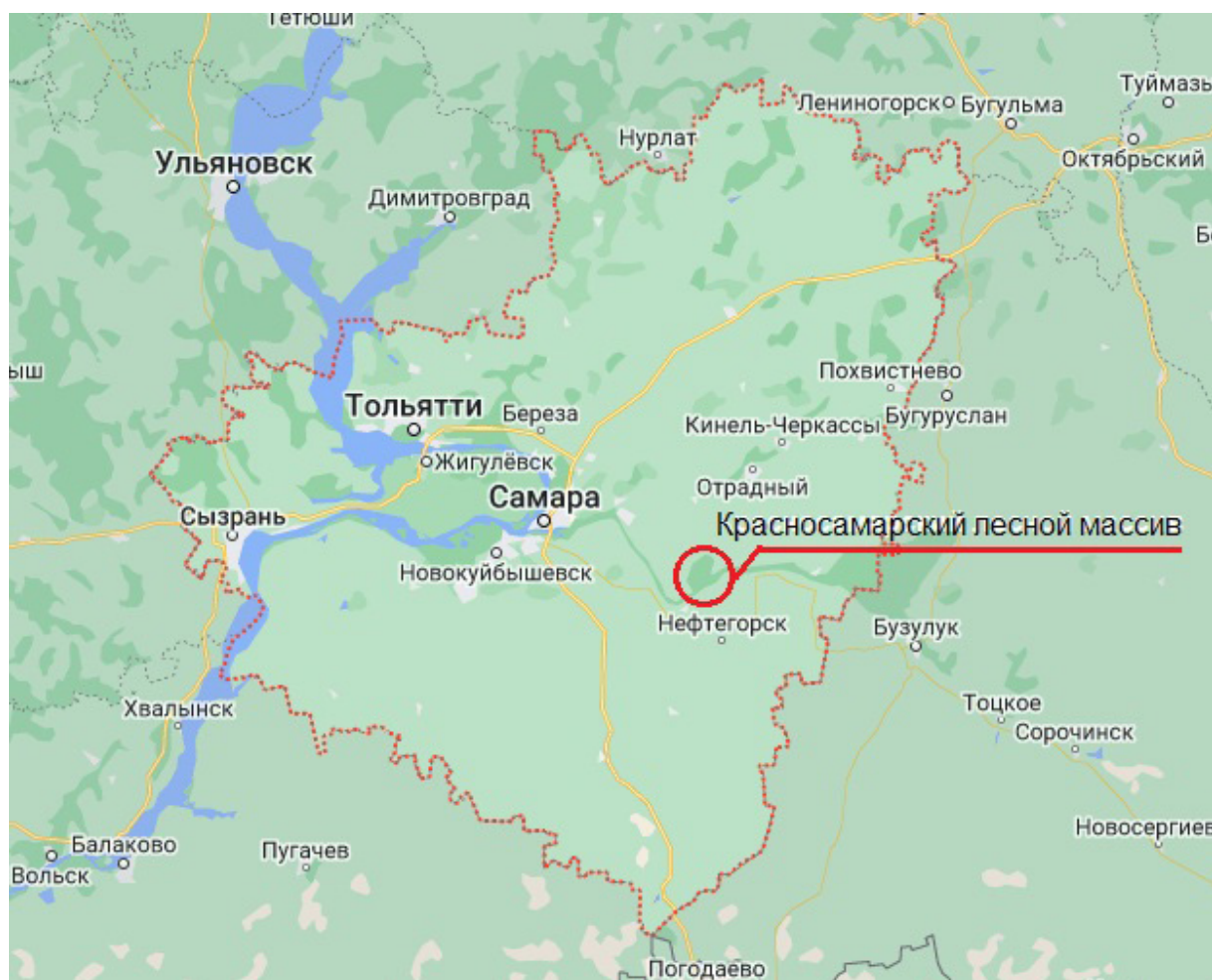


Рис. 1. Расположение изучаемого лесного массива в Самарской области.

Объектами исследований служили почвы и мхи Красносамарского лесного массива (*Pleurozium schreberi* (Willd. ex Brid.) Mitt., *Brachythecium salebrosum* (F. Weber et D. Mohr) Bruch et al., *Climacium dendroides* (Hedw.) F. Weber et D. Mohr, *Dicranum polysetum* Sw.).

Pleurozium schreberi рекомендован как один из видов-биомониторов по мониторингу атмосферного загрязнения тяжёлыми металлами для программы The ICP Vegetation и часто используется как референтный вид мха (Steinnes, 2000; Djingova et al., 2004). На территории Самарской области *Pleurozium schreberi* произрастает в светлых и относительно влажных сосновых лесах совместно с видами *Dicranum polysetum*, *Brachythecium salebrosum*, *Climacium dendroides*, которые также можно использовать как референтные виды для региона.

Методы исследования. В различных типах сообществ согласно общепринятым в почвоведении и биогеохимии методам были отобраны образцы почв и мхов (Berg, Steinnes, 1998). Затем образцы в лабораторных условиях были высушены и подготовлены к дальнейшей работе.

Количественное содержание тяжёлых металлов во мхах и почвах, отобранных в Красносамарском лесном массиве, определяли методом спектрометрии с индукционно-связанной плазмой.

Также были проанализированы данные по содержанию тяжёлых металлов в мохообразных и почвах, полученных методом ХРИ (характеристическое рентгеновское излучение) в 1991 г. Н. В. Прохоровой с коллегами (Прохорова и др., 1998).

Сравнительный анализ накопления мхами тяжёлых металлов проводился методом «отпечатка пальцев» по Маркерт, при котором используется референтный вид, взятый за условную норму для данной территории (Markert et al., 2015).

Результаты и их обсуждение. Анализ данных по среднему содержанию тяжёлых металлов в почвах Красносамарского лесного массива и Самарской области показал, что изучаемая территория может приниматься за фоновую для региона (табл. 1).

Количественное содержание элементов в почве Красносамарского лесного массива в большинстве случаев уступает их содержанию в почвах Самарской области, за исключением Cu, As и Cd, концентрации которых имеют примерно равные значения, а Ni и Sr – выше регионального фона. Содержание всех нормированных элементов в почвах Красносамарского лесного массива не достигает значений ПДК и ОДК.

В таблице 2 представлены данные о содержании тяжёлых металлов в фитомассе изучаемых мхов Красносамарского лесного массива. Сравнительный анализ показал, что наибольшая металлоаккумулирующая способность характерна для *Pleurozium schreberi*, наименьшая – для *Dicranum polysetum*. Мох *Climacium dendroides* проявил максимальную видоспецифичность по накоплению большинства анализируемых элементов.

Таблица 1
Среднее содержание тяжёлых металлов в почвах Красносамарского лесного массива и Самарской области, мг/кг

Элемент	Красносамарский лесной массив	Самарская область (Прохорова и др., 1998)
Ca	2520	24938
Mn	470	678
Cr	38	104
V	34	74
Co	2	15
Ni	51	29
Cu	31	28
Zn	31	72
As	6	7
Cd	2	< 2
Se	4	12
Fe	17930	32331
Sr	490	169
Rb	46	82

Таблица 2
Показатели содержания тяжёлых металлов для изучаемых мхов Красносамарского лесного массива, мг/кг (цветом выделены сходные значения показателей)

Элемент	<i>Dicranum polysetum</i>	<i>Climacium dendroides</i>	<i>Brachytecium salebrosum</i>	<i>Pleurozium schreberi</i>
Ca	6808,00	7728,00	10232,00	-
Mn	93,95	273,53	51,25	256,00
Cr	6,94	5,39	6,66	8,61
V	3,61	5,38	5,34	5,21
Co	0,40	0,72	0,58	0,67
Ni	3,74	5,41	3,98	3,35
Cu	2,39	7,11	2,16	58,90
Zn	25,02	41,38	28,12	59,90
As	0,64	1,00	0,59	0,66
Pb	5,45	10,74	4,12	-
Cd	0,24	0,40	0,14	-
Se	0,10	0,30	0,25	0,29
Fe	708,50	1007,50	1267,50	1500,00
Sr	12,20	13,40	51,90	21,00
Rb	2,20	2,80	4,79	5,81

Результаты сравнительного анализа среднего содержания тяжёлых металлов для мхов Красносамарского лесного массива методом «отпечатка пальцев», где в качестве референтного показателя использовалось среднее значение содержания тяжёлых металлов для мохообразных Самарской области (Прохорова и др., 1998), представлены на рис. 2.

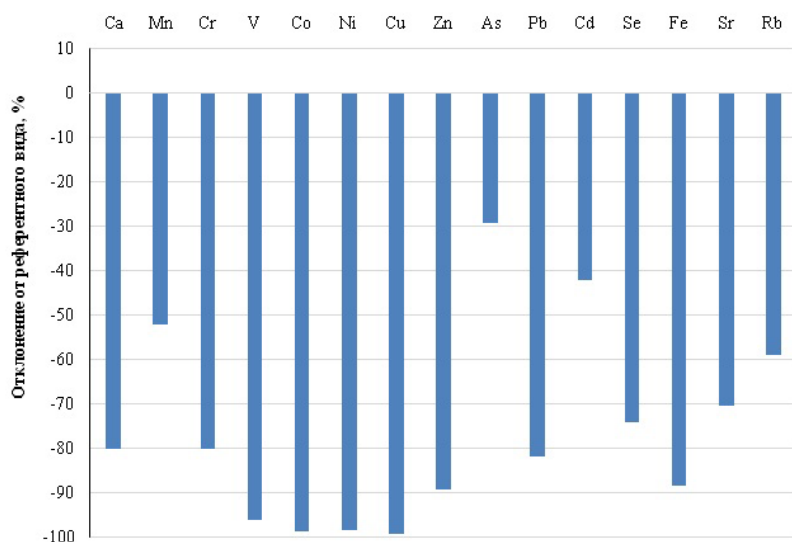


Рис. 2. Показатели «отпечатка пальцев» среднего содержания тяжёлых металлов для мхов Красносамарского лесного массива.

Отрицательное отклонение говорит о том, что уровень накопления тяжёлых металлов во мхах Красносамарского лесного массива ниже, чем в среднем по Самарской области.

Это свидетельствует о том, что на территории Красносамарского лесного массива отсутствует активное накопление тяжёлых металлов в почвах, а также нет их источника интенсивного атмосферного загрязнения.

Анализ показателей «отпечатка пальцев» содержания тяжёлых металлов для изучаемых мхов Красносамарского лесного массива, для которого в качестве референтного показателя использовалось среднее значение

содержания тяжёлых металлов во мхе *Pleurozium schreberi* из незагрязненных областей Западной Европы по Маркерту (Djingova et al., 2004) выявил следующие особенности (рис. 3).

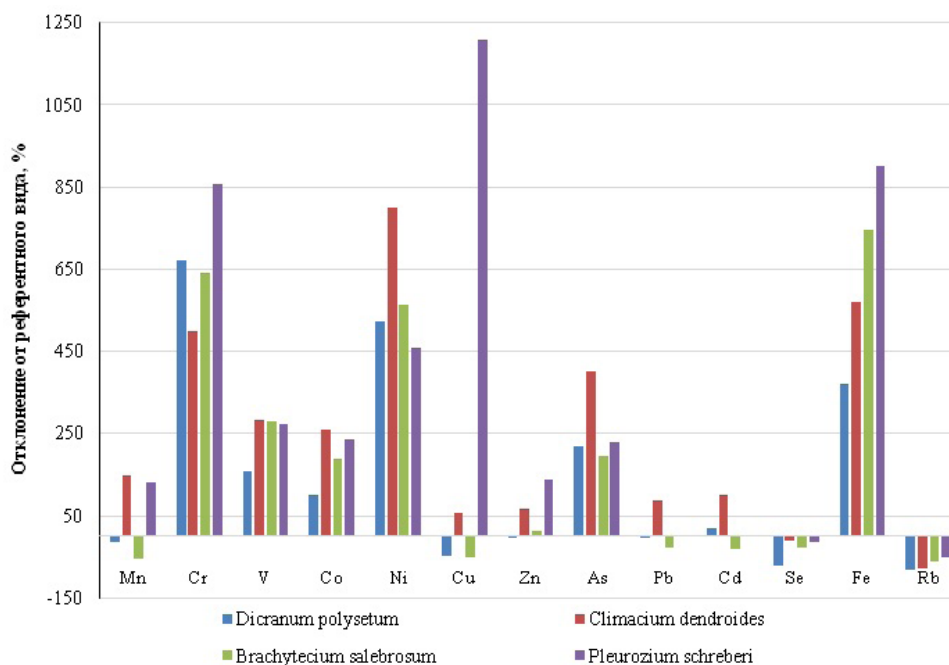


Рис. 3. Показатели «отпечатка пальцев» содержания тяжёлых металлов для изучаемых мхов Красносамарского лесного массива.

Показатели накопления Cr, V, Co, Ni, As, Fe, Zn для всех видов изучаемых мхов в Самарской области значительно превышают показатели референтного вида, что часто прослеживается относительно Западной Европы. Se и Rb содержатся в меньшем количестве. Содержание остальных элементов (Mn, Cu, Pb, Cd) различается в зависимости от вида.

Climacium dendroides заметно выбивается из общих тенденций по уровню накопления тяжёлых металлов в сравнении с референтным видом мха и другими изучаемыми видами мхов.

Отмечается высокое значение по накоплению меди в фитомассе *Pleurozium schreberi*, произрастающего в Красносамарском лесном массиве, по сравнению с Европой. Это можно объяснить более высоким содержанием этого элемента в почвенном покрове Самарской области в целом. Цветковые растения Самарской области также демонстрируют повышенный уровень накопления меди по сравнению с другими территориями (Прохорова и др., 1998).

Выводы.

1. Выявлено достоверно меньшее накопление тяжёлых металлов почвами и мхами из фитоценозов Красносамарского лесного массива относительно техногенно трансформированных территорий Самарской области, что позволяет считать Красносамарский лесной массив фоновой территорией, а данные по металлоаккумуляции мхов с этой территории можно использовать для расчета показателей «референтного мха» для Самарского региона.

2. По накоплению тяжёлых металлов в фитомассе мхов выявлена определенная видовая специфичность, которая особенно ярко проявилась у *Climacium dendroides*. Наибольшая металлоаккумулятивная способность отмечена у *Pleurozium schreberi*, наименьшая – у *Dicranum polysetum*.

3. Выявлен гораздо больший уровень накопления большинства тяжёлых металлов во мхах Красносамарского лесного массива относительно европейского референтного мха по Маркерту. Более высокие показатели накопления металлов во мхах из Красносамарского лесного массива по сравнению с Западной Европой свидетельствует о биогеохимической специфике Самарской области и необходимости использовать в качестве референтных значений биогеохимические показатели мхов, произрастающих на её фоновой территории.

ЛИТЕРАТУРА

Прохорова Н. В., Матвеев Н. М., Павловский В. А. Аккумуляция тяжелых металлов дикорастущими и культурными растениями в лесостепном и степном Поволжье. – Самара: Изд-во «Самарский университет», 1998. – 131 с.

Berg T., Steinnes E. Use of mosses (*Hylocomium splendens* and *Pleurozium schreberi*) as biomonitors of heavy metal deposition: from relative to absolute deposition values // *Environment Pollution*, 1997. – Vol. 98, No 1. – P. 61–71. DOI: 10.1016/S0269-7491(97)00103-6

Djingova R., Kuleff I., Markert B. Chemical fingerprinting of plants // *Ecological Research*, 2004. – Vol. 19. – P. 3–11. DOI: 10.1111/j.1440-1703.2003.00602.x

Markert B., Fraenzle S., Wünschmann S. Chemical Evolution: The Biological System of the Elements. – Cham: Springer, 2015. – 282 p. DOI: 10.1007/978-3-319-14355-2

Steinnes E. Use of mosses as biomonitors of atmospheric deposition of trace elements // *Biomonitoring of atmospheric pollution*. – Vienna: IAEA-TECDOC-1152, International Atomic Energy Agency, 2000. – P. 100–107.