

Научная статья

Original article

УДК 631

doi: 10.55186/2413046X\_2023\_8\_5\_236

**СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЁЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ГОРОДСКОМ ПОЧВЕННО  
РАСТИТЕЛЬНОМ КОМПЛЕКСЕ В ПОГОДНОЙ ДИНАМИКЕ В 2021-2022  
ГГ.**

**THE CONTENT OF HEAVY METALS IN THE URBAN SOIL AND PLANT  
COMPLEX IN WEATHER DYNAMICS IN 2021-2022.**



**Походня Елизавета Игоревна**, Университет ИТМО, E-mail: elizaveta902@mail.ru

**Динкелакер Наталья Владимировна**, преподаватель, Университет ИТМО, E-mail: nvdinkelaker@mail.ru

**Динкелакер Никита Фридрих Йоргович**, инженер, Университет ИТМО, E-mail: nicfred2015@yandex.ru

**Рахманов Юрий Алексеевич**, к.т.н., доцент, Университет ИТМО, E-mail: jarahmanov@itmo.ru

**Дидиков Александр Евгеньевич**, к.т.н., преподаватель, Университет ИТМО, E-mail: didikov@yandex.ru

**Ульянов Николай Борисович**, к.т.н., преподаватель, Университет ИТМО, E-mail: nbulianov@itmo.ru

**Моисеенко Евгений**, аспирант, Университет ИТМО, E-mail: drmalicious@mail.ru

**Овсюк Елена Алексеевна**, к.т.н., доцент, Университет ИТМО, E-mail: ovsuk@mail.ru

**Агаханиянц Полина Феликсовна**, к.т.н., доцент, Университет ИТМО, E-mail: agapolina@yandex.ru

**Pokhodnya Elizaveta Igorevna**, ITMO University, E-mail: elizaveta902@mail.ru

**Dinkelaker Natalia Vladimirovna**, Lecturer, ITMO University, E-mail: nvdinkelaker@mail.ru

**Dinkelaker Nikita Friedrich Yorgovich**, Engineer, ITMO University, E-mail: nicfred2015@yandex.ru

**Rakhmanov Yuri Alekseevich**, Ph.D., Associate Professor, ITMO University, E-mail: jarahmanov@itmo.ru

**Didikov Alexander Evgenievich**, Ph.D., lecturer, ITMO University, E-mail: didikov@yandex.ru

**Ulyanov Nikolay Borisovich**, Ph.D., Lecturer, ITMO University, E-mail: nbulianov@itmo.ru

**Evgeny Moiseenko**, PhD student, ITMO University, E-mail: drmalicious@mail.ru

**Ovsyuk Elena Alekseevna**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, ITMO University, E-mail: ovsuk@mail.ru

**Agakhanyants Polina Feliksovna**, PhD, Associate Professor, ITMO University, agapolina@yandex.ru

**Аннотация.** Исследование, проведенное летом 2021 года и продолженное в 2022 году, было направлено на изучение миграции тяжелых металлов в почвенно-растительных системах, представленных в различных частях Санкт-Петербурга и в значительной степени подверженных антропогенному воздействию. Исследование показало, что стресс, характеризующийся сочетанным воздействием антропогенного фактора и повышенной относительно нормы температуры в начале вегетационного периода, вызывает нарушение барьерных функций по отношению к тяжелым металлам. В конце жаркого периода барьерные функции были восстановлены лишь частично.

**Abstract.** The study, conducted in the summer of 2021 and continued in 2022, was aimed at studying the migration of heavy metals in soil-plant systems represented in various parts of St. Petersburg and largely exposed to anthropogenic impact. The study showed that stress, characterized by the combined effect of an anthropogenic factor and a temperature elevated relative to the norm at the beginning of the vegetative period,

causes a violation of barrier functions in relation to heavy metals. At the end of the hot period, barrier functions were only partially restored.

**Ключевые слова:** аккумуляция тяжёлых металлов, почвы, растения, городские экосистемы, глобальное изменение климата, антропогенное воздействие, стресс растений

**Keywords:** accumulation of heavy metals, soils, plants, urban ecosystems, global climate change, anthropogenic impact, plant stress

Загрязнение почв тяжелыми металлами является одной из характерных экологических проблем мегаполисов, в первую очередь, вследствие большого количества источников загрязнения. Кроме того, характерное для городской среды закисление атмосферных осадков и поверхностного стока увеличивает подвижность металлов в почве и повышает их биодоступность [1]. Накопление тяжелых металлов в зеленых насаждениях достаточно давно является предметом исследований в России [2-5] и других странах [6], что, в первую очередь, связано с токсичностью данных загрязнителей и их распространенностью [1]. Тем не менее, большинство исследований касаются небольшого числа видов растений и выполнены для конкретных регионов [2].

Городские зелёные насаждения, произрастающие в условиях измененной и загрязненной тяжелыми металлами окружающей среды, отличаются повышенной уязвимостью, особенно к резким изменениям температурно-климатического режима относительно нормы [7]. Тем не менее, исследования совместного влияния температуры и загрязнения почв тяжелыми металлами на аккумуляцию тяжелых металлов растениями немногочисленны и преимущественно касаются сельскохозяйственных растений.

Цель настоящего исследования заключалась изучении состояния барьерной функции в системе почва-растения в зеленых насаждений Санкт-Петербурга в условиях аномально жарких летних периодов. В задачи входило исследования содержания тяжелых металлов и металлоидов в почвах и 8 видах растений 6

зеленых насаждениях в одном из наиболее загрязненных районов Санкт-Петербурга – Адмиралтейском в период погодных аномалий лета 2021 года, а также после него.

Вегетационный сезон 2021 года в Санкт-Петербурге характеризовался значительным повышением летних температур относительно нормы (в июне и июле были зарегистрированы превышения среднемесячной температуры более чем на 5°C), что выпало на начало вегетационного периода [8].

Исследованы 5 видов древесных, 2 вида травянистыми видами и один вид мха – барбилофозия бородатая (*Barbilophozia barbata*).

Определение тяжелых металлов и металлоидов (Sr, Pb, Zn, As, Ni, V, Cr,) в почве и зеленых частях растений проведено методом рентгенофлуоресцентного анализа [9], после чего был проведён расчет коэффициентов биологического перехода тяжелых металлов.

#### Основная часть

Основными объектами, продуцирующими поступление тяжёлых металлов в почвы Адмиралтейского района, являются промышленные предприятия и автотранспорт. Соответственно, в данном случае на район отбора проб наиболее значительное влияние оказывают такие оживлённые автодороги, как Московский проспект и набережная Ободного канала, промышленные предприятия ООО "ГСК Красный треугольник", АО «Адмиралтейские верфи», а также Балтийский вокзал. В прошлом негативное продуцировали негативное воздействие Варшавский вокзал и Молочный комбинат «Петмол» [10].

Установлено, что загрязнение тяжелыми металлами, произошедшее в результате нынешней и прошлой хозяйственной деятельности накапливается в почве, а из неё аккумулируется в различной степени всеми исследованными видами растений.

Эффективность барьерной функции растительности в отношении тяжелых металлов зависит от многих факторов, среди которых вид, физиологическое состояние растений, уровень загрязненности почв и их геохимические

особенности, а также внешние условия, в данном случае проявившиеся в виде значительного стресса, продуцированного аномально высокой температурой [8, 10]. Степень и характер изменений видоспецифичны, более того, барьерная функция в отношении различных тяжелых металлов изменяется неодинаково у одного и того же вида растений (рис. 1-4).

Исследование коэффициента биологического перехода, проведенные в период аномальной жары (более 2 недель с максимальной дневной температурой 33-36°C, при отсутствии осадков) показали, в этот период у всех исследованных видов наиболее высокое значение имеет коэффициент биологического перехода мышьяка, у мха также никеля (рис.1). У тополя серебристого также отмечается высокий уровень перехода цинка.

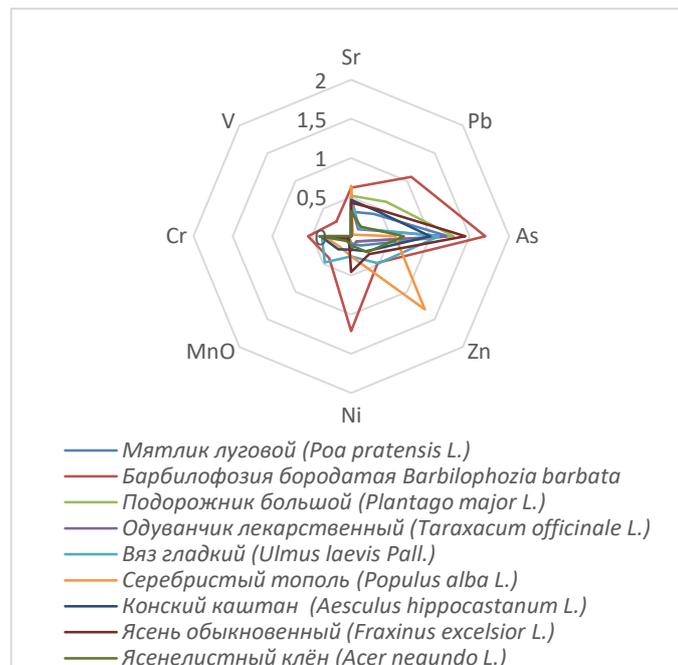


Рисунок 1. Аккумуляция тяжёлых металлов в городской растительности в жаркий сухой период (в конце 3-х недельного периода погодной аномалии)

После окончания 3-х недельного периода с аномально высокой температурой воздуха температура воздуха снизилась до 23-25°C. Исследования, проведенные через 10 дней после стабилизации погодных условий, показали выраженное изменение аккумулятивной активности в отношении тяжелых металлов у барбифозии, в то же время характер аккумуляции у покрытосеменных растений

не изменился – так же, как и в жаркий период у всех растений отмечался наиболее высокий коэффициент биологического перехода для мышьяка, у серебристого тополя – также для цинка (рис.2).

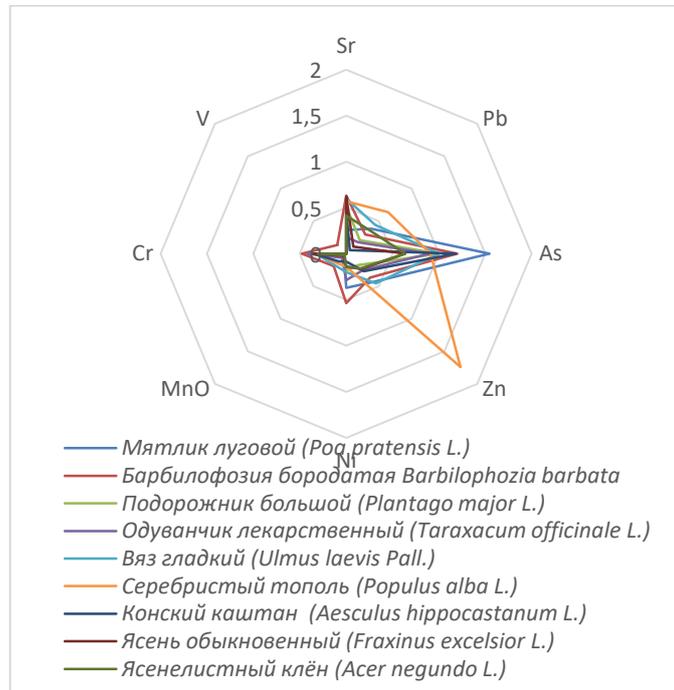


Рисунок 2. Аккумуляция тяжёлых металлов в городской растительности, в тёплый дождливый период, после окончания периода аномально высокой температуры воздуха)

Дальнейшее снижение температуры произошло в середине августа. Данные, полученные через 10 дней после того, как температура воздуха установилась на уровне максимальных дневных температур 17-20 °С, показали, что к наблюдавшемуся ранее наиболее высокому коэффициенту биологического перехода, отмеченному для мышьяка у всех исследованных видов, и цинка у серебристого тополя, добавилось повышение коэффициента для стронция и хрома у всех видов (рис. 3). При этом коэффициент биологического перехода тяжелых металлов и металлоидов у мха барбифлозия бородастая в из зеленой биомассы в почву.

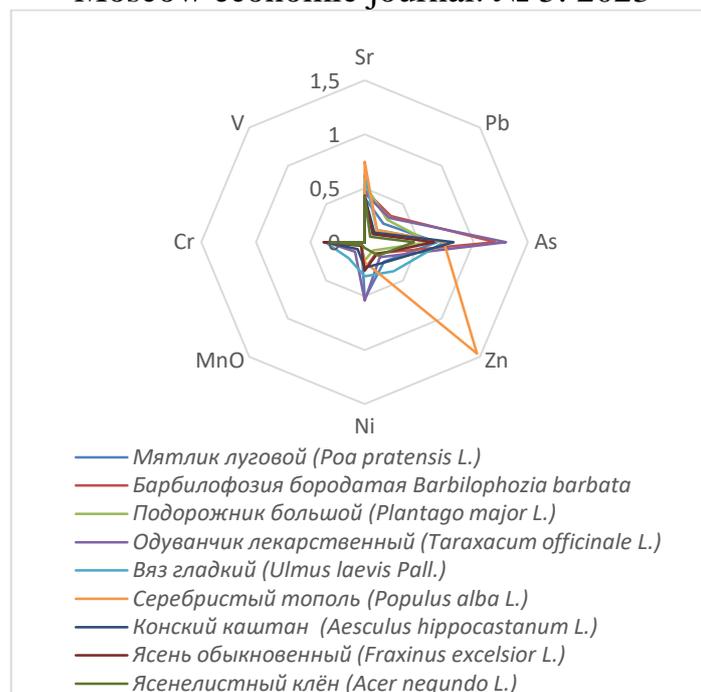


Рисунок 3. Аккумуляция тяжёлых металлов в городской растительности, в прохладный сухой период после окончания периода аномально высокой температуры воздуха, середина августа.

Оценка интенсивности биологического накопления определялась по градации (таб. 1), предложенной А.И. Перельманом [11].

Таблица 1. Шкала оценки интенсивности накопления элементов по величине коэффициента биологического накопления

Величина биологического накопления	Значение КБН	Группа КБН
Энергично накапливаемые	10–100	I
Сильно накапливаемые	1–10	II
Слабого накопления или среднего захвата	0,1–1,0	III
Слабого захвата	0,01–0,1	IV
Очень слабого захвата	0,001–0,01	V

Большинство изученных элементов классифицированы как «слабого накопления или среднего захвата» (таб. 2).

Таблица 2. Результаты оценки интенсивности накопления элементов по величине коэффициента биологического накопления

Вид	Сухой жаркий период (июнь 2021)						Влажный жаркий период (июль 2021)						Прохладный период (август 2021)						
	Sr	Pb	As	Zn	Ni	Cr	Sr	Pb	As	Zn	Ni	Cr	Sr	Pb	As	Zn	Ni	Cr	
Мятлик луговой ( <i>Poa pratensis L.</i> )	III	III	II	III	IV	III	III	III	II	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III
Барбифлозия ( <i>Barbilophozia barbata</i> )	III	II	II	III	II	III	III	III	II	III	III	III	III	III	III	II	III	III	III
Подорожник большой ( <i>Plantago major L.</i> )	III	III	II	III	III	III	III	III	II	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III
Одуванчик лекарственный ( <i>Taraxacum officinale L.</i> )	III	III	II	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	II	III	III	III
Вяз гладкий ( <i>Ulmus laevis Pall.</i> )	III	III	II	III	III	III	III	III	II	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III
Тополь серебристый ( <i>Populus alba L.</i> )	III	II	III	II	III	III	III	III	III	II	III	III	III	III	III	III	II	III	III
Каштан конский ( <i>Aesculus hippocastanum L.</i> )	III	III	II	III	III	III	III	III	II	III	IV	III	III	III	III	III	III	III	III
Ясень обыкновенный ( <i>Fraxinus excelsior L.</i> )	III	III	II	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III
Клен ясенелистный ( <i>Acer negundo L.</i> )	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III

В период с аномальными погодными условиями у всех исследованных видов растений мышьяк является сильно накапливаемым элементом, в то время как в период с типичной для региона температурой воздуха мышьяк ведет себя как элемент «слабого накопления или среднего захвата». Среди исследованных видов накопление металлов, классифицируемое как сильное, отмечено у тополя

серебристого в отношении свинца и цинка, последнее сохранялось до конца сезона. Сильная аккумуляция отмечена для свинца, цинка и мышьяка у исследованного вида мха *Barbilophozia barbata*. В жаркий период и после него, однако, этот вид не характерен для региона и является заносным в зеленых насаждениях.

#### Выводы

Аккумуляция тяжелых металлов и металлоидов в растениях в период аномально жаркой погоды, не характерной для Санкт-Петербурга, происходит активнее, чем в последующие периоды с нормальной для региона температурой воздуха. Наиболее интенсивно накапливаемым элементом среди исследованных является мышьяк.

#### Список источников

1. Обухов А. И., Лепнева О. М. Биогеохимия тяжелых металлов в городской среде // Почвоведение. – 1989. – № 3. – С. 65–73
2. Уфимцева М. Д., Терехина Н. В. Фитоиндикация экологического состояния урбогеосистем. СПб.: Наука, 2005. 339 с.
3. Шихова Н. С. Оценка функционального состояния зеленых насаждений и аккумуляции ими тяжелых металлов на городских озелененных территориях различного назначения // Сибирский экологический журнал. – 2019. – в.5 – С.612–626
4. Дергунова А. Б., Рахимова Х. Х. Особенности аккумуляции тяжелых металлов листьями древесных растений // Новые достижения в химии и химической технологии растительного сырья: материалы II Всерос. конф. Барнаул: Изд-во Алт. гос. ун-та, 2005. Кн. 2. С. 713–716.
5. Жадько С. В., Дайнеко Н. М. Накопление тяжелых металлов древесными породами улиц г. Гомеля // Изв. Гомел. гос. ун-та. 2003. № 5. С. 77–80. Ларина Г. Е., Обухов А. И. Тяжелые металлы в растительности с газонов вдоль автомагистралей // Вестн. МГУ. Сер. 17, Почвоведение. 1995. № 3. С. 41–48.

6. Ветчинникова Л. В., Кузнецова Т. Ю., Титов А. Ф. Особенности накопления металлов в листьях древесных растений на урбанизированных территориях в условиях севера // Тр. Карел. науч. центра РАН. –2013. – № 3. – С. 68–73.
7. Tomašvić M., Rajšić S., Đorđević D., Tašić M., Rrštić J., Novacović V. Heavy metals accumulation in tree leaves from urban areas // Environ. Chem. Lett. 2004. N 2(3). P. 151–154.
8. О температурных рекордах 2021 года. – Текст : электронный //Гидрометцентр Российской Федерации: официальный сайт. – 2022. – URL: <https://meteoinfo.ru/novosti/18421-o-temperaturnykh-rekordakh-2021-goda> (дата обращения - 10.02.2023)
9. Методика выполнения измерения массовой доли металлов и оксидов металлов в порошковых пробах почв методом рентгенофлуоресцентного анализа М049-П/04 / - СПб: ООО «НПО Спектрон», 2002 . – 46 с.
10. Фирсов Г.А., Фадеева И.В. Влияние биоклиматической цикличности на древесные насаждения в Санкт-Петербурге // Вестн. Волгогр. гос. ун-та. Сер. 11, Естеств. науки. - 2014. - № 2 (8). – С 18 - 26.
11. Перельман А.И., Касимов Н.С., Геохимия ландшафта. – М.: МГУ, 1999. 767 с.

### References

1. Obukhov A. I., Lepneva O. M. Biogeochemistry of heavy metals in urban environment // Soil science. – 1989. – No. 3. – pp. 65-73
2. Ufimtseva M. D., Terekhina N. V. Phyto-indication of the ecological state of urban geosystems. St. Petersburg: Nauka, 2005. 339 p.
3. Shikhova N. S. Assessment of the functional state of green spaces and their accumulation of heavy metals in urban green areas for various purposes // Siberian Ecological Journal. – 2019. – v.5 – pp.612–626
4. Dergunova A. B., Rakhimova H. H. Features of accumulation of heavy metals by leaves of woody plants // New achievements in chemistry and chemical technology of plant raw materials: materials of the II All-Russian Conference. Barnaul: Publishing house of Alt. state University, 2005. Book 2. pp. 713-716.

5. Zhadko S. V., Daineko N. M. Accumulation of heavy metals by wood species of streets of Gomel // *Izv. Gomel. State University*. 2003. No. 5. pp. 77-80. Larina G. E., Obukhov A. I. Heavy metals in vegetation from lawns along highways // *Vestn. MSU. Ser. 17, Soil Science*. 1995. No. 3. pp. 41-48.
6. Vetchinnikova L. V., Kuznetsova T. Yu., Titov A. F. Features of the accumulation of metals in the leaves of woody plants in urbanized territories in the conditions of the North // *Tr. Karel. of the Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. -2013. – No. 3. – pp. 68-73.
7. Tomašvić M., rajšić S., Đorđević D., tašić M., Rrstić J., Novacović V. Heavy metals accumulation in tree leaves from urban areas // *Environ. Chem. Lett*. 2004. N 2(3). P. 151–154.
8. About the temperature records of 2021. – Text : electronic //Hydrometeorological Center of the Russian Federation: official website. – 2022. – URL: <https://meteoinfo.ru/novosti/18421-o-temperaturnykh-rekordakh-2021-goda> (date of application - 10.02.2023)
9. Methodology for measuring the mass fraction of metals and metal oxides in powdered soil samples by X-ray fluorescence analysis M049-P/04 / - St. Petersburg: NPO Spectron LLC, 2002 . – 46 p .
10. Firsov G.A., Fadeeva I.V. The influence of bioclimatic cyclicity on tree plantations in St. Petersburg // *Vestn. Volgogr. state University. Ser. 11, Natural Sciences. science*. - 2014. - № 2 (8). – From 18-26.
11. Perelman A.I., Kasimov N.S., *Geochemistry of landscape*. – М.: MSU, 1999. 767 p.  
**Для цитирования:** Походня Е.И., Динкелакер Н.В., Динкелакер Н.Ф.Й., Рахманов Ю.А., Дидиков А.Е., Ульянов Н.Б., Моисеенко Е.Н., Овсяук Е.А., Агаханянц П.Ф. Содержание тяжёлых металлов в городском почвенно-растительном комплексе в погодной динамике в 2021-2022 гг. // *Московский экономический журнал*. 2023. № 5. URL: <https://qje.su/nauki-o-zemle/moskovskij-ekonomicheskij-zhurnal-5-2023-38/>

Московский экономический журнал. № 5. 2023

Moscow economic journal. № 5. 2023

© Походня Е.И., Динкелакер Н.В., Динкелакер Н.Ф.И., Рахманов Ю.А., Дидиков

А.Е., Ульянов Н.Б., Моисеенко Е.Н., Овсяк Е.А., Агаханянц П.Ф., 2023.

*Московский экономический журнал, 2023, № 5.*