

Читать
онлайн
Read
online

Щукин В.М., Блинкова Е.А., Швецова Ю.Н., Кузьмина Н.Е., Лутцева А.И.

Анализ транссредовых переходов элементных токсикантов в цветки липы

ФГБУ «Научный центр экспертизы средств медицинского применения» Минздрава России, 127051, Москва, Россия

Введение. Загрязнение лекарственного растительного сырья тяжёлыми металлами носит выраженный региональный характер и зависит от степени антропогенного воздействия и биологических особенностей растения.

Цель работы — изучение методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой транссредовых переходов элементных токсикантов в цветки липы с учётом влияния высокой антропогенной нагрузки Московского региона.

Материалы и методы. В качестве объектов исследования использовали 108 образцов, включающих в себя почву, листья и цветки дикорастущих и культивируемых деревьев липы сердцевидной и широколистной из 36 мест сбора с различным уровнем антропогенного воздействия. Переход элементных токсикантов из почвы в цветки липы оценивали напрямую, сравнивая валовое содержание элементов в цветках и сопряжённых почвах. Переход элементных токсикантов из атмосферы оценивали опосредованно, сравнивая содержание тяжёлых металлов в цветках липы с их содержанием в листьях.

Результаты. Установлено, что концентрации нормированных элементных токсикантов в цветках липы не превышают их ПДК для лекарственных растений, несмотря на существенное влияние техногенного фактора. Для оценки транссредовых переходов рассчитывали непараметрический коэффициент корреляции Спирмена между содержанием анализируемых элементов в морфологических частях липы и сопряжённых почвах. Обнаружено, что обогащение морфологических частей липы алюминием, ванадием, хромом, марганцем, железом, кобальтом, медью, цинком, стронцием, молибденом, барием и свинцом происходит через атмосферу; существует заметная связь между содержанием марганца, железа, мышьяка, молибдена и бария в земле и морфологических частях растения; никель, медь, цинк, кадмий и свинец переходят из окружающей среды в морфологические части липы незначительно, ртуть липой практически не поглощается.

Ограничения. Исследование проведено в течение одного вегетативного периода (июнь 2019 г.) на территории Москвы и Московской области.

Заключение. Цветки липы в большей степени являются концентраторами марганца, меди, стронция, молибдена, бария, чем листья, и, следовательно, могут быть использованы в качестве индикаторов загрязнения атмосферного воздуха этими элементными токсикантами.

Ключевые слова: масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой; ИСП-МС; тяжёлые металлы; элементные токсиканты; *Tilia cordata*; морфологические части липы; транссредовый переход; источник контаминации; индикатор контаминации; лекарственные растения

Соблюдение этических стандартов. Исследование не требует представления заключения комитета по биомедицинской этике или иных документов.

Для цитирования: Щукин В.М., Блинкова Е.А., Швецова Ю.Н., Кузьмина Н.Е., Лутцева А.И. Анализ транссредовых переходов элементных токсикантов в цветки липы. *Гигиена и санитария*. 2022; 101(2): 159-166. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-2-159-166>

Для корреспонденции: Щукин Виктор Михайлович, вед. эксперт лаб. спектральных методов анализа ФГБУ «Научный центр экспертизы средств медицинского применения» Минздрава России, 127051, Москва. E-mail: Schukin@exrmed.ru

Участие авторов: Щукин В.М. — идея, планирование исследования, проведение измерения содержания элементов методом ИСП-МС, анализ литературы, написание текста; Блинкова Е.А. — пробоподготовка, графическое оформление результатов исследования; Швецова Ю.Н. — сбор, обработка и систематизация данных; Кузьмина Н.Е. — интерпретация результатов исследования, написание и доработка текста; Лутцева А.И. — утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУ «НЦЭСМП» Минздрава России № 056-00003-20-00 на проведение прикладных научных исследований (номер государственного учёта НИР АААА-А18-118021590049-0).

Поступила: 28.07.2021 / Принята к печати: 25.11.2021 / Опубликована: 10.03.2022

Viktor M. Shchukin, Elena A. Blinkova, Yulia N. Shvetsova, Natalia E. Kuzmina, Anna I. Luttseva

Analysis of trans-environment transitions of elemental toxicants in linden flowers

Scientific Centre for Expert Evaluation of Medicinal Products, Moscow, 127051, Russian Federation

Introduction. The contamination of heavy metals in medicinal plants is regional and depends on the plant's anthropogenic influence and biological properties.

The purpose of the work was to study the trans-environmental transition of elemental toxicants in linden flowers by inductively coupled plasma mass spectrometry with the influence of the Moscow region anthropogenic burden.

Materials and methods. One hundred eight samples were used as objects of the research, including soil, leaves and flowers of wild and cultivated linden and broadleaf trees from 36 collection sites with different levels of anthropogenic impact. The transition of elemental toxicants from soil to linden flowers was assessed directly by comparing the gross content of elements in flowers and adjacent soils. The transition of elemental toxicants from the atmosphere was evaluated indirectly by comparing heavy metals concentration in the linden flowers with their contents in leaves.

Results. Despite the significant influence of technogenic factors on the normalized elemental toxicants in flowers of lindens, their permitted concentrations are not exceeded. To assess the trans-environment transitions, the Spearman nonparametric correlation coefficient was calculated between the content of the analyzed elements in the morphological parts of the linden and adjacent soils. It was found that the enrichment of the morphological parts of linden with aluminium, vanadium, chromium, manganese, iron, cobalt, copper, zinc, strontium, molybdenum, barium and lead occurs through the atmosphere; there is a fair correlation between the content of manganese, iron, arsenic, molybdenum and barium in the ground and morphological parts of the plant. Nickel, copper, zinc, cadmium and lead pass from the environment to the morphological parts of the linden insignificantly, mercury is practically not absorbed by the linden.

Limitations. The study was conducted in Moscow and the Moscow region during one vegetative period (June 2019).

Conclusions. Linden flowers are more concentrators of manganese, copper, strontium, molybdenum, barium than leaves, and they can be used as indicators of atmospheric air pollution with these elemental toxicants.

Keywords: inductively coupled plasma mass spectrometry; ICP-MS; heavy metals; elemental toxicants; *Tilia cordata*; morphological parts of linden; trans-environment transition; source of contamination; an indicator of contamination; herbal drugs

Compliance with ethical standards. This article does not include research involving humans or animals as research subjects.

For citation: Shchukin V.M., Blinkova E.A., Shvetsova Yu.N., Kuzmina N.E., Lutseva A.I. Analysis of trans-environment transitions of elemental toxicants in linden flowers by inductively coupled plasma mass spectrometry. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2022; 101(2): 159-166. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-2-159-166> (In Russian)

For correspondence: Victor M. Shchukin, leading MD, expert of the Lab. of spectral methods of analysis of the Scientific Center for Expertise of Medicinal Products of the Ministry of Health of Russian Federation, Moscow, 127051, Russian Federation. E-mail: schukin@expmed.ru

Information about the authors:

Shchukin V.M., <https://orcid.org/0000-0001-9440-0950> Blinkova E.A., <https://orcid.org/0000-0002-4813-4740> Shvetsova Yu.N., <https://orcid.org/0000-0002-2125-6174> Kuzmina N.E., <https://orcid.org/0000-0002-9133-0835> Lutseva A.I., <https://orcid.org/0000-0001-8752-5245>

Contribution: Shchukin V.M. — idea, research planning, research concept and design, element content measurement by ICP-MS, literature analysis, writing the text; Blinkova E.A. — preparation of test solutions, graphical design of the research results; Shvetsova Yu.N. — data collection, systematization and processing; Kuzmina N.E. — interpretation of research results, writing, revising the text; Lutseva A.I. — approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgement. The work was carried out within the framework of the state task of the Scientific Center for Expertise of Medicinal Products of the Ministry of Health of Russian Federation, No. 056-00003-20-00 for applied scientific research (number of the state registration of NIR AAAA-A18-118021590049-0)

Received: July 28, 2021 / Accepted: November 25, 2021 / Published: March 10, 2022

Введение

Одним из критериев качества лекарственного растительного сырья (ЛРС) служит содержание в нём элементарных токсикантов (в первую очередь тяжёлых металлов и мышьяка), представляющих заметную угрозу здоровью человека. Характерной особенностью российского рынка препаратов природного происхождения является активное использование в производстве дикорастущего лекарственного растительного сырья (ЛРС). Дикорастущее ЛРС в отличие от культивируемого собирается населением на неконтролируемых участках произрастания растений. Несмотря на то что сбор лекарственных растений в местах с возможным химическим загрязнением запрещён¹, полного контроля качества заготавливаемого сырья со стороны производителей лекарственных средств не производится. Ситуация усугубляется тем, что в соответствии с требованиями Государственной фармакопеи Российской Федерации XIV издания (ГФ РФ) контроль содержания тяжёлых металлов и мышьяка в ЛРС производится лишь один раз в год на одной партии сырья, вследствие чего остро встаёт вопрос оценки их качества и безопасности.

Основными источниками контаминации ЛРС элементарными токсикантами являются почва и воздух. Содержание тяжёлых металлов и мышьяка в почвах и присутствие их в воздухе в значительной степени связано с деятельностью человека [1]. Для определения толерантности ЛРС к элементарным токсикантам (способности накапливать их без видимых признаков угнетения) актуально оценить их содержание в ЛРС, произрастающих в местах с высокой степенью урбанизации. Московская область представляет наибольший интерес, так как около 60% её территории хронически загрязнено токсикантами промышленного происхождения [2–4].

Данная работа посвящена изучению перехода тяжёлых металлов, мышьяка и алюминия из почвы и атмосферы в цветки липы на территории Московской области. Алюминий включён в круг анализируемых элементов, так как его подвижная форма является фитотоксичной [5] и имеет спектр токсического влияния на организмы теплокровных, сходный с действием тяжёлых металлов [6]. Актуальность этого исследования обусловлена тем, что в настоящее время в литературе представлены главным образом результаты оценки контаминации ЛРС нормируемыми элементарными токсикантами (As, Hg, Pb, Cd). Комплексное изучение транссредового перехода широкого спектра элементарных токсикантов в различные морфологические части растения с учётом оценки путей их поступления в ЛРС практически

не проводилось. Исследования, проведённые в разных районах в 1990–2010 гг., показали, что проблема загрязнения ЛРС тяжёлыми металлами носит явно выраженный региональный характер и зависит не только от степени антропогенного воздействия, но и от биологических особенностей самого растения [7]. Цветки липы выбраны в качестве объектов исследования, так как они являются ценным компонентом целого ряда лекарственных растительных препаратов (ЛРП): порошков, сборов, настоев, суппозиторий и экстрактов [8, 9].

Цель работы — изучение методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС) транссредовых переходов элементарных токсикантов в цветки липы с учётом влияния высокой антропогенной нагрузки Московского региона. Метод ИСП-МС характеризуется максимальной чувствительностью среди современных спектральных методов элементного анализа для почв и биологических объектов [10, 11].

Материалы и методы

В качестве объектов исследования использовали образцы почвы, листья и цветки дикорастущих и культивируемых деревьев липы сердцевидной (*Tilia cordata* Mill.) и липы широколистной (*Tilia platyphyllos* Scop.). Места сбора исследованных образцов приведены на рис. 1. Они включали в себя территории с высоким антропогенным влиянием (производственные предприятия, автомобильные и железные дороги, полигоны твёрдых бытовых отходов, аэропорт), со средним антропогенным влиянием (бульвары и парки Москвы, территория Московской ветеринарной академии, Подольск) и потенциально малозагрязнённые участки (посёлки и деревни Московской области, Звенигород). В качестве контрольного места сбора с наименьшей степенью загрязнения использовали Звенигородскую биологическую станцию МГУ. Всего было отобрано по 3 образца почвы, листьев и цветков липы из 36 мест сбора (всего 108 проб) в период цветения липы в 2019 г. Исследованные образцы земли отбирали согласно ГОСТ 17.4.4.02-2017², образцы цветков и листьев липы — согласно ФС.2.5.0024.15³ и САС/GL 50-2004⁴.

В перечень определяемых элементов включили нормируемые высокоопасные токсиканты (мышьяк, свинец, ртуть, кадмий), а также токсичные элементы, присутствующие в испытываемых образцах в количествах, превышающих предел

² ГОСТ 17.4.4.02-2017. Охрана природы (ССОП). Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа (с поправкой). М.: Стандартинформ; 2018.

³ ФС.2.5.0024.15. Липы цветки. Государственная фармакопея Российской Федерации XIV изд., Т. 4., 2018.

⁴ САС/GL 50-2004. General Guidelines on Sampling CXG 50. 2004.

¹ Войтюк М.М. Методические рекомендации по организации несельскохозяйственной деятельности в малых формах хозяйствования. М.: ФГБНУ «Росинформарготех», 2011. 88 с.



- 1 – дер. Пятница / vil. Pyatnitsa;
- 2 – г. Звенигород, ул. Садовая / Zvenigorod, Sadovaya str.;
- 3 – МО, Луцинское шоссе / Moscow region;
- 4 – МГУ Биостанция 100 м / Moscow State University Biostation 100 m;
- 5 – МГУ Биостанция 500 м / Moscow State University Biostation 500 m;
- 6 – г. Кубинка / Kubinka;
- 7 – с. Жаворонки / vil. Zhavoronki;
- 8 – пос. Чехов-7 / sett. Chekhov-7;
- 9 – г. Москва, ул. Вилиса Лациса / Moscow, Vilisa Latsisa str.;
- 10 – г. Москва, ул. Авиационная / Moscow, Aviation str.;
- 11 – г. Москва, Строгинский бульвар / Moscow, Stroginsky Blvd.;
- 12 – 250 м от Калужского шоссе / 250 m from the Kaluzhskoe highway;
- 13 – 1000 м от Калужского шоссе / 1000 m from the Kaluzhskoe highway;
- 14 – г. Подольск, ул. Лобачева / Podolsk, Lobacheva str.;
- 15 – г. Подольск, ул. Рошинская / Podolsk, Roshchinskaya street;
- 16 – г. Москва, Алтуфьевское шоссе / Moscow, Altufevskoe shosse;
- 17 – г. Москва, Бирюлево / Moscow, Biryulevo;
- 18 – г. Мытищи, Мытищинский машиностроительный завод / Mytishchi shop;

- 19 – г. Москва, ул. Юности / Moscow, Yunosti str.;
- 20 – парк Кусково / park Kuskovo;
- 21 – г. Москва, МВА / Moscow, MBA;
- 22 – г. Москва, Кузьминский парк / Moscow, Kuzminsky park;
- 23 – г. Москва, МНПЗ Капотня / Moscow, Moscow Oil Refinery Plant, Kapotnya;
- 24 – МКАД 22-й км / Moscow Ring Road;
- 25 – г. Видное, Коксогазовый завод / Vidnoe, Coke and Gas Plant;
- 26 – с. Абрамцево / vil. Abramtsevo;
- 27 – пос. Торбеево, полигон ТБО / sett. Torbeevo, solid waste landfill;
- 28 – г. Москва, Люберецкие очистные сооружения / Moscow, Lyubertsy treatment facilities;
- 29 – станция Ильинская / Ilyinskaya station;
- 30 – с. Ильинка, ул. 8 Марта / vil. Ilyinka;
- 31 – дер. Верея, бетонный завод / vil. Vereya, concrete plant;
- 32 – парк с. Быково / park Bykovo;
- 33 – г. Жуковский, ул. Громова / Zhukovsky, Gromov str.;
- 34 – аэропорт Жуковский / airport Zhukovsky;
- 35 – г. Бронницы, МБК / Bronnitsy, MBK;
- 36 – ТСЖ Заповедный лес, Конобеево / Condominium Partnership Reserved forest, Konobeevo.

Рис. 1. Места сбора исследуемых образцов.

Fig. 1. Sampling locations.

количественного определения применяемой методики (алюминий, ванадий, хром, марганец, железо, кобальт, никель, медь, цинк, стронций, молибден, барий).

Методика анализа. Образцы, предварительно высушенные до постоянной массы, подвергали анализу по собственной разработанной и валидированной методике [12] с помощью масс-спектрометра с индуктивно-связанной плазмой Agilent 7900.

Переход элементных токсикантов из почвы в цветки липы оценивали напрямую, сравнивая валовое содержание элементов в цветках и сопряжённых почвах. Переход элементных токсикантов из атмосферы оценивали опосредованно, сравнивая содержание тяжёлых металлов в цветках липы с их содержанием в листьях. Практика использования листьев липы в качестве индикаторов атмосферного загрязнения описана во многих литературных источниках [13, 14].

Результаты

Содержание нормируемых^{5,6} элементных токсикантов в морфологических частях липы и сопряжённых почвах с указанием места сбора приведено на рис. 2.

Мышьяк. Представленные на рис. 2 данные в целом совпадают с описанными в литературе [15, 16]: максимальное содержание мышьяка в исследованных образцах почв составляет 10,4 мг/кг (Московский коксогазовый завод), среднее – 5 мг/кг, что примерно соответствует ПДК 2 мг/кг⁷ с учётом фона 5,6 мг/кг⁸. Наибольшие значения наблюдались в местах с высокой и средней степенью урбанизации.

Во всех исследованных образцах цветков липы содержание мышьяка не превышало требований ГФ РФ⁹ (0,5 мг/кг), наибольшее количество (0,156 мг/кг) обнаружено в образцах из района аэропорта Жуковский, близкие количества найдены в образцах с Алтуфьевского шоссе, Мытищинского машиностроительного завода и парковки у платформы «Ильинская».

Содержание мышьяка в листьях липы заметно выше содержания данного элемента в цветках и в районе платформы «Ильинская» составляет 0,64 мг/кг, что превышает установленные в ГФ РФ нормы.

Кадмий. Максимальное содержание кадмия в почве (1,2 мг/кг) обнаружено в районе Мытищинского машиностроительного завода, среднее 0,4 мг/кг, медиана 0,33 мг/кг, при фоновом содержании 0,28–0,41 мг/кг для европейского региона [17] и в целом сочетается со средним значением для урбанизированных территорий России (2,2 мг/кг [16]). Содержание кадмия в листьях и цветках отличается незначительно. В листьях и цветках липы максимальное количество данного контаминанта обнаружено в районе Люберецких очистных сооружений: 0,22 и 0,13 мг/кг соответственно.

Ртуть. Максимальное обнаруженное содержание ртути в исследованных образцах почвы составляет 0,32 мг/кг (ул. Вилиса Лациса в Москве), что в 7 раз меньше ПДК ртути в почвах (2,1 мг/кг с учётом фона)¹⁰. Среднее содержание ртути в исследованных образцах почвы составляет 0,1 мг/кг, медиана 0,05 мг/кг.

⁵ Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов СанПиН 2.3.2.1078-01 с изменениями на 6 июля 2011 г.

⁶ ОФС.1.5.3.009.15. Определение содержания тяжёлых металлов и мышьяка в лекарственном растительном сырье и лекарственных растительных препаратах. Государственная фармакопея Российской Федерации XIV изд. Т. 2. 2018.

⁷ Письмо Минприроды РФ № 04-25, Роскомзема № 61-5678 от 27.12.1993 г. «О порядке определения размеров ущерба от загрязнения земель химическими веществами».

⁸ ГН 2.1.7.2041-06 Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве» от 01.04.2006 г.

⁹ ОФС.1.5.3.009.15. Определение содержания тяжёлых металлов и мышьяка в лекарственном растительном сырье и лекарственных растительных препаратах. Государственная фармакопея Российской Федерации XIV изд. Т. 2. 2018.

¹⁰ ГН 2.1.7.2041-06 Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве» от 01.04.2006 г. С 01.03.2021 г. этот документ отменён. Действует СанПиН 1.2.3685-21.

Только в трёх пробах растительных образцов обнаружены количества ртути, превышающие 0,5 ПДК: в листьях липы в районе Люберецких очистных сооружений (0,057 мг/кг) и Звенигороде (0,066 мг/кг), в цветках липы в Звенигороде (0,059 мг/кг).

Свинец. ПДК свинца в почве составляет 32 мг/кг¹⁰. В ходе проведённых исследований обнаружено особенно сильное влияние техногенеза на содержание данного элемента в почвах: максимальное содержание свинца (956 мг/кг – 15 ПДК) обнаружено на территории Подольского аккумуляторного завода. Также повышенное содержание свинца наблюдается рядом с Мытищинским машиностроительным заводом (104 мг/кг – 3,2 ПДК) и АО «НИИ НПО «ЛУЧ» (Подольск) (67 мг/кг – 2 ПДК). При этом заметно общее снижение содержания свинца в почвах Москвы по сравнению с исследованиями 2005 г. [18].

Самое высокое содержание свинца в исследованных образцах листьев липы обнаружено в Москве на ул. Вилиса Лациса (16 мг/кг) и рядом с бетонным заводом в д. Верея (12 мг/кг). Измеренное среднее содержание свинца в листьях липы составляет 1,6 мг/кг, медиана 0,51 мг/кг. Нормы по содержанию свинца в листьях липы не установлены.

Содержание свинца во всех исследованных образцах цветков ниже ПДК, приведённой в ГФ РФ¹¹ и СанПиН⁵. Максимальное содержание свинца в цветках липы (4,7 мг/кг) обнаружено на ул. Лобачева в Подольске, на этом же участке выявлено самое высокое содержание данного токсиканта в почве. Среднее содержание свинца в исследованных образцах составляет 0,69 мг/кг, медиана 0,26 мг/кг.

При проведении статистической обработки полученных результатов установлено, что распределение элементных токсикантов в изучаемых объектах статистически значимо отличается от нормального и для оценки среднего содержания более корректно принимать медианные значения концентраций. Минимальные, максимальные и медианные значения содержания ненормируемых элементных токсикантов (алюминия, ванадия, хрома, марганца, железа, кобальта, никеля, меди, цинка, стронция, молибдена и бария) в листьях и цветках липы, а также в сопряжённых почвах представлены в табл. 1.

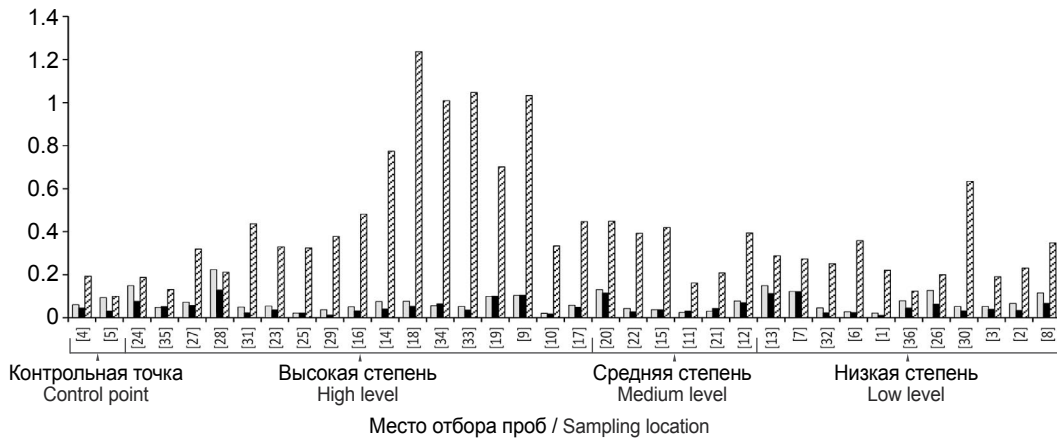
Обсуждение

Среднее содержание нормируемых элементных токсикантов в почве Европейского региона [17] составляет: As – 11,6 мг/кг, Cd – 0,28 мг/кг, Hg – 0,061 мг/кг, Pb – 32 мг/кг. Следует отметить, что мышьяк характеризуется высокой вариабельностью содержания в почве: в верхнем слое незагрязнённой почвы оно обычно находится в интервале 0,2–16 мг/кг [16], а среднемировое содержание составляет 6,83 мг/кг [17]. Для урбанизированных территорий России данные по содержанию вышеперечисленных токсикантов отличаются: As – 9,8 мг/кг, Cd – 2,2 мг/кг, Hg – 0,1 мг/кг, Pb – 99 мг/кг [16]. Полученные в нашем исследовании данные (см. табл. 1) в целом совпадают с приведёнными значениями для городов России и в большинстве случаев не превышают гигиенических нормативов, хотя и отличаются от фоновых значений. Самые высокие уровни загрязнения почвы выявлены на парковке у платформы «Ильинская» (2 ПДК по меди, 1,4 ПДК по хрому и никелю), на территориях возле Подольского аккумуляторного завода (15 ПДК по свинцу, 1,6 ПДК по цинку), на Мытищинском механическом заводе (3,2 ПДК по свинцу, 1,2 ПДК по цинку), НПО «ЛУЧ» г. Подольск – (2 ПДК по свинцу, 1,5 ПДК по цинку), на ул. Вилиса Лациса в Москве (1,1 ПДК по цинку).

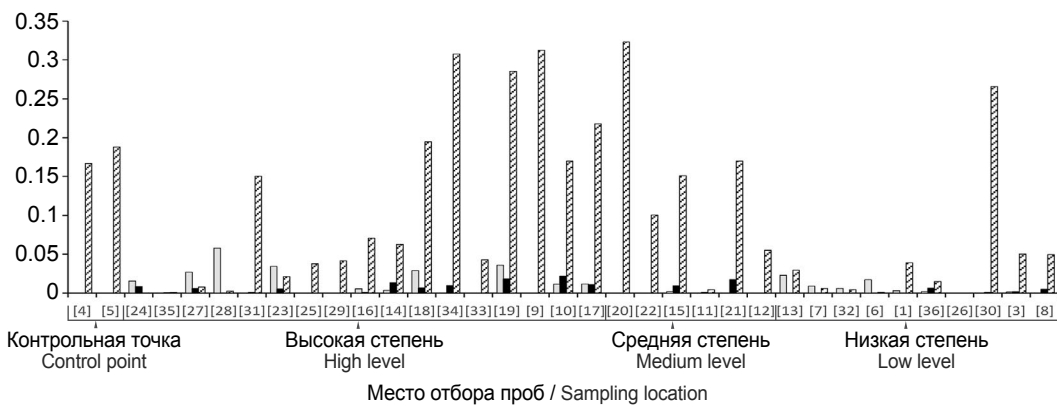
В районе Подольского аккумуляторного завода также наблюдается повышенное содержание в почве ненормируемых

¹¹ ОФС.1.5.3.009.15. Определение содержания тяжёлых металлов и мышьяка в лекарственном растительном сырье и лекарственных растительных препаратах. Государственная фармакопея Российской Федерации XIV изд. Т. 2. 2018.

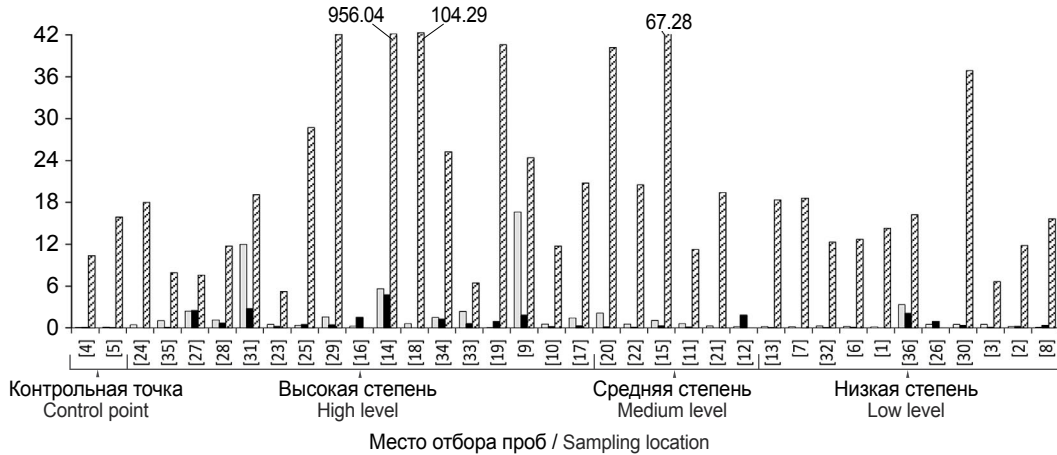
Мышьяк
Arsenic



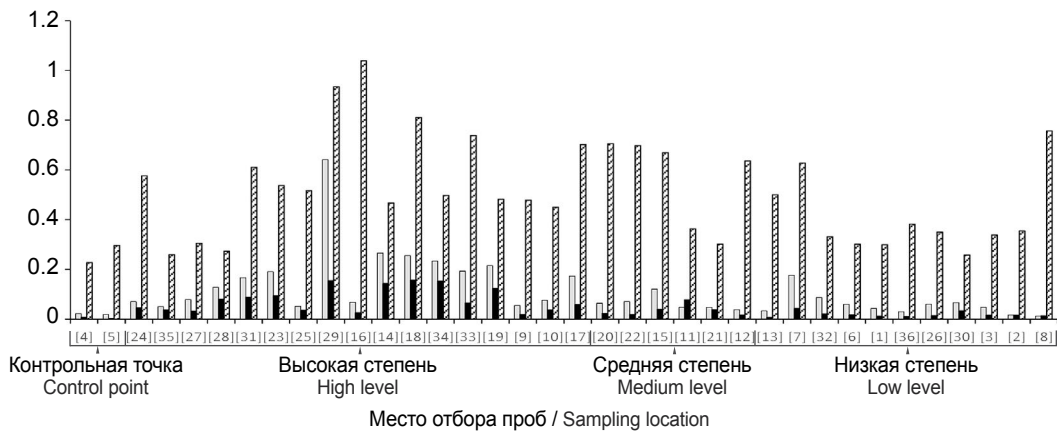
Кадмий
Cadmium



Свинец
Lead



Мышьяк
Arsenic



Листья
Leaves
 Цветки
Flowers
 Почва
Soil

Рис. 2. Содержание мышьяка, кадмия, ртути и свинца в испытуемых образцах.

Fig. 2. Content of arsenic, cadmium, mercury and lead in test samples.

Таблица 1 / Table 1

Содержание определяемых элементов в образцах, мг/кг
Content of determinable elements in the samples, mg/kg

Элемент Element	Объект Object	Содержание		Медиана Median
		минимальное min content	максимальное max content	
Al	Листья / Leaves	44.45	1667	173.3
	Цветки / Flowers	15.16	408.8	57.18
	Почва / Soil	4713	51,302	14 269
Ni	Листья / Leaves	1.250	7.867	3.054
	Цветки / Flowers	1.008	8.640	2.250
	Почва / Soil	7.343	255.5	24.20
V	Листья / Leaves	0.125	3.576	0.509
	Цветки / Flowers	0.014	14.01	0.208
	Почва / Soil	13.33	108.5	31.04
Cu	Листья / Leaves	4.974	157.2	11.64
	Цветки / Flowers	4.434	97.51	15.20
	Почва / Soil	3.420	183.7	21.46
Cr	Листья / Leaves	0.392	20.80	2.328
	Цветки / Flowers	0.109	98.74	0.973
	Почва / Soil	2.730	389.3	31.32
Zn	Листья / Leaves	14.25	219.2	28.66
	Цветки / Flowers	0.125	56.80	28.32
	Почва / Soil	19.69	285.0	79.82
Mn	Листья / Leaves	19.07	1017	84.89
	Цветки / Flowers	19.94	1330	84.73
	Почва / Soil	135.0	2170	458.2
Sr	Листья / Leaves	19.08	129.7	44.10
	Цветки / Flowers	17.96	82.35	42.32
	Почва / Soil	13.63	219.0	44.11
Fe	Листья / Leaves	61.22	2194	289.2
	Цветки / Flowers	52.72	2533	128.0
	Почва / Soil	4797	59 901	18 406
Mo	Листья / Leaves	0.033	1.425	0.382
	Цветки / Flowers	0.000	5.380	0.700
	Почва / Soil	0.000	8.747	0.000
Co	Листья / Leaves	0.075	0.975	0.228
	Цветки / Flowers	0.063	5.588	0.150
	Почва / Soil	1.701	34.48	6.907
Ba	Листья / Leaves	5.678	84.46	15.84
	Цветки / Flowers	6.650	64.90	16.81
	Почва / Soil	34.72	1469	113.4

Таблица 2 / Table 2

Степень корреляции содержания элементных токсикантов
в исследованных образцах

Degree of correlation of elemental toxicant content in the samples analyzed

Элемент Element	Объект Object		Коэффициент корреляции Correlation coefficient <i>r</i>
Al	Цветки – Почва	Flowers – Soil	0.193
	Листья – Почва	Leaves – Soil	0.285
Ni	Листья – Цветки	Leaves – Flowers	0.732
	Цветки – Почва	Flowers – Soil	0.066
	Листья – Почва	Leaves – Soil	0.068
V	Листья – Цветки	Leaves – Flowers	0.317
	Цветки – Почва	Flowers – Soil	–0.030
	Листья – Почва	Leaves – Soil	0.240
Cu	Листья – Цветки	Leaves – Flowers	0.764
	Цветки – Почва	Flowers – Soil	0.203
	Листья – Почва	Leaves – Soil	0.142
Cr	Листья – Цветки	Leaves – Flowers	0.346
	Цветки – Почва	Flowers – Soil	0.080
	Листья – Почва	Leaves – Soil	0.148
Zn	Листья – Цветки	Leaves – Flowers	0.742
	Цветки – Почва	Flowers – Soil	0.280
	Листья – Почва	Leaves – Soil	0.006
Mn	Листья – Цветки	Leaves – Flowers	0.192
	Цветки – Почва	Flowers – Soil	0.394
	Листья – Почва	Leaves – Soil	0.482
Sr	Листья – Цветки	Leaves – Flowers	0.659
	Цветки – Почва	Flowers – Soil	0.419
	Листья – Почва	Leaves – Soil	0.179
Fe	Листья – Цветки	Leaves – Flowers	0.734
	Цветки – Почва	Flowers – Soil	0.427
	Листья – Почва	Leaves – Soil	0.357
Mo	Листья – Цветки	Leaves – Flowers	0.765
	Цветки – Почва	Flowers – Soil	0.842
	Листья – Почва	Leaves – Soil	0.800
Co	Листья – Цветки	Leaves – Flowers	0.820
	Цветки – Почва	Flowers – Soil	0.094
	Листья – Почва	Leaves – Soil	0.074
Ba	Листья – Цветки	Leaves – Flowers	0.672
	Цветки – Почва	Flowers – Soil	0.143
	Листья – Почва	Leaves – Soil	0.317
As	Листья – Цветки	Leaves – Flowers	0.746
	Цветки – Почва	Flowers – Soil	0.255
	Листья – Почва	Leaves – Soil	0.319
Cd	Листья – Цветки	Leaves – Flowers	0.798
	Цветки – Почва	Flowers – Soil	0.084
	Листья – Почва	Leaves – Soil	0.021
Hg	Листья – Цветки	Leaves – Flowers	0.817
	Цветки – Почва	Flowers – Soil	0.070
	Листья – Почва	Leaves – Soil	–0.297
Pb	Листья – Цветки	Leaves – Flowers	0.103
	Цветки – Почва	Flowers – Soil	0.101
	Листья – Почва	Leaves – Soil	0.226
	Листья – Цветки	Leaves – Flowers	0.273

элементных токсикантов: 1468 мг/кг бария (при фоновом содержании 400 мг/кг) и стронция 219 мг/кг (при фоновом содержании 130 мг/кг). Алюминий, ванадий, марганец, железо и никель во всех исследованных точках содержатся в количествах, сопоставимых со значениями, приведёнными для российских городов [16, 18].

Наблюдается чёткая зависимость между степенью урбанизации территории и содержанием в почве тяжёлых металлов, при этом наличие локальных загрязнений приводит к тому, что степень загрязнения некоторыми элементами небольших населённых пунктов Московской агломерации (пос. Ильинский, д. Верея) сопоставима с таковой для промышленных городов (Подольск, Мытищи) и улиц Москвы.

Для оценки взаимосвязи по содержанию элементных токсикантов в изучаемых объектах рассчитан непараметрический коэффициент корреляции Спирмена как наиболее подходящий для оценки скошенных распределений [19]. Результаты расчётов приведены в табл. 2.

Интерпретация полученных значений по шкале Чеддока показывает, что в большинстве случаев присутствует лишь умеренная ($0,3 \leq r \leq 0,5$) либо слабая ($r \leq 0,3$) корреляция между содержанием элемента в цветках и листьях древесных растений и сопряжённой почве, что во многом подтверждается ранее проведёнными исследованиями [21, 22]. Относительно высокие значения наблюдаются лишь для молибдена, но данное отклонение можно связать с относительно малым объёмом выборки для данного элемента, поскольку в заметных количествах он обнаружен лишь в некоторых образцах исследуемой почвы. В ходе проведённого исследования для многих элементов обнаружена довольно высокая связь между их содержанием в листьях и цветках. Данная связь прослеживается для алюминия, ванадия, хрома, марганца, железа, кобальта, мышьяка, кадмия, стронция, молибдена и бария и служит основанием для предположения, что основным источником загрязнения различных морфологических частей растения неорганическими поллютантами является атмосфера.

Отбор объектов исследования осуществлялся в одном регионе и в течение одного периода цветения, что заметно сужает вариативность полученных значений. При этом полученные результаты по содержанию элементных токсикантов в листьях и цветках липы хорошо сочетаются с данными литературы для России [22–25] и Восточной

Европы [26, 27], что позволяет использовать исследование для оценки степени накопления различных элементов данным растением.

Заключение

Для большинства описанных элементов в изученной научной литературе не обнаружено сведений о проведённых ранее комплексных исследованиях их содержания в листьях и цветках липы, а также в сопряжённой почве.

На основе комплексного анализа транссредовых переходов алюминия, ванадия, хрома, марганца, железа, кобальта, никеля, меди, цинка, стронция, молибдена, бария, мышьяка, свинца, кадмия и ртути в цветки липы с учётом влияния высокой антропогенной нагрузки Московского региона были сделаны следующие выводы.

1. Для морфологических частей липы установлена зависимость содержания элементных токсикантов от уровней техногенного загрязнения. При этом содержание нормируемых элементных токсикантов в цветках не превышает уровень ПДК во всех местах сбора вне зависимости от степени антропогенного воздействия на территорию.

2. Обогащение морфологических частей липы алюминием, ванадием, хромом, марганцем, железом, кобальтом, стронцием, молибденом и барием происходит в основном через атмосферу. Существует умеренная связь между содержанием марганца, железа, мышьяка, молибдена, стронция и бария в почве и морфологических частях растения. Высокая связь обнаружена лишь между содержанием молибдена в цветках и сопряжённой почве. Никель, медь, цинк, кадмий и свинец переходят из окружающей среды в морфологические части липы незначительно, ртуть липой практически не поглощается.

4. Цветки липы обладают способностью накапливать алюминий, ванадий, хром, марганец, кобальт и железо в больших количествах без видимых признаков угнетения: для них максимальное содержание более чем в 10 раз превышает медианное.

5. Цветки липы по сравнению с листьями в заметно больших количествах накапливают ванадий, хром, кобальт и молибден в антропогенно нагруженных районах и, следовательно, могут быть использованы в качестве индикаторов загрязнения атмосферного воздуха этими элементными токсикантами.

Литература

(п.п. 10, 11, 14, 17, 18, 20, 23, 25–27 см. References)

1. Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды Российской Федерации в 2015 году». Доступно: <https://www.mnr.gov.ru/gosdoklad-eco-2015>
2. Черногаева Г.М., Зеленю А.С. Комплексная оценка состояния окружающей среды Московского региона и его природных объектов по данным Росгидромета. В кн.: *Геоэкологические проблемы Новой Москвы*. М.: 2013; 33–7.
3. Кульбачевский А.О. Доклад «О состоянии окружающей среды в городе Москве в 2019 году»; 2020. https://www.dpiios.ru/eco/ru/report_result/o_456535
4. Волгин А.В., Волгин Д.А. Содержание тяжёлых металлов-загрязнителей в антропогенно слабонарушенных почвах Московской области. *Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Естественные науки*. 2013; (4): 32–40.
5. Яковлева О.В. Фитотоксичность ионов алюминия. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2019; 179(3): 315–31. <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2018-3-315-31>
6. Мартынова М.О., Козырев К.М., Албегова Ж.К. К вопросу современных представлений влияния алюминия на живые организмы. *Современные проблемы науки и образования*. 2014; (2): 302.
7. Гравель И.В. Необходимость оценки безопасности лекарственного растительного сырья по содержанию экотоксикантов. *Ведомости научного центра экспертизы средств медицинского применения*. 2012; (2): 37–9.
8. Веселова Д.В., Колесникова Н.В., Чудилова Г.А., Степанова Э.Ф., Рушинова Т.В. Иммуномодулирующее действие экстракта цветков липы в эксперименте *in vitro*. *Биофармацевтический журнал*. 2019; 11(3): 17–20.
9. Темирбулатова А.М., Степанова Э.Ф., Веселова Д.В., Лежнева Л.П. Исследования по расширению спектра использования экстрактов родиолы розовой, липы сердцевидной и астрагала эспарцетного в медицинской практике. *Научные результаты биомедицинских исследований*. 2019; 5(1): 84–93. <https://doi.org/10.18413/2313-8955-2019-5-1-0-6>
10. Шукин В.М., Жигилей Е.С., Ерина А.А., Швецова Ю.Н., Кузьмина Н.Е., Лутцева А.И. Валидация методики определения ртути, свинца, кадмия и мышьяка в лекарственном растительном сырье и лекарственных средствах на его основе методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой. *Химико-фармацевтический журнал*. 2020; 54(9): 57–64. <https://doi.org/10.30906/0023-1134-2020-54-9-57-64>
11. Мамиева Е.Б., Ширнина Л.В. Липа мелколистная как биоиндикатор загрязнения атмосферного воздуха тяжёлыми металлами. *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*. 2017; (1): 34–40. <https://doi.org/10.17238/issn2071-2243.2017.1.34>
12. Безуглова О.С., Околелова А.А. О нормировании содержания мышьяка в почвах. *Живые и биосферные системы*. 2012; (1): 1–11.
13. Касимов Н.С., Власов Д.В. Тяжёлые металлы и металлоиды в почвах российских городов (по данным ежегодных докладов Росгидромета). *Вестник Московского университета. Серия 5. География*. 2018; (3): 14–22.
14. Гржибовский А.М. Корреляционный анализ. *Экология человека*. 2008; (9): 50–9.
15. Неверова О.А. Применение фитоиндикации в оценке загрязнения окружающей среды. *Биосфера*. 2009; 1(1): 82–92.
16. Дьякова Н.А. Накопление тяжёлых металлов и мышьяка цветками липы сердцевидной, произрастающей в агро- и урбозо-системах Воронежской области. *Труды Карельского научного центра Российской академии наук. Серия: Экологические исследования*. 2020; (5): 70–9. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2021-21-4-478-487>
17. Кайгородов Р.В., Тиунова М.И., Дружинина А.В. Загрязняющие вещества в пыли проезжих частей дорог и в древесной растительности придорожных полос городской зоны. *Вестник Пермского университета. Серия: Биология*. 2009; (10): 141–6.

References

- State report «On the state and protection of the environment of the Russian Federation in 2015». Available at: <http://www.mnr.gov.ru/gosdoklad-eco-2015> (in Russian)
- Chernogaeva G.M., Zelenov A.S. Comprehensive assessment of the Moscow region environment and its natural objects according to Roshydromet data. In: *Geoecological problems of New Moscow [Geoekologicheskie problemy Novoy Moskvy]*. Moscow; 2013: 33–7. (in Russian)
- Kul'bachevskiy A.O. Report «On the state of the environment in the city of Moscow in 2019»; 2020. Available at: http://www.dpioos.ru/eco/ru/report_result/o_456535 (in Russian)
- Volgin A.V., Volgin D.A. Content of heavy metal pollutants in anthropogenically weakly disturbed soils of the Moscow region. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo oblastnogo universiteta. Seriya: Estestvennyye nauki*. 2013; (4): 32–40. (in Russian)
- Yakovleva O.V. Phytotoxicity of aluminum ions. *Trudy po prikladnoy botanike, genetike i selektsii*. 2019; 179(3): 315–31. <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2018-3-315-331> (in Russian)
- Martynova M.O., Kozzyrev K.M., Albegova Zh.K. On the issue of modern concepts influence of aluminum on living organisms. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya*. 2014; (2): 302. (in Russian)
- Gravel' I.V. Necessity for safety evaluation of medicinal herbs by contents of ecotoxicants. *Vedomosti nauchnogo tsentra ekspertizy sredstv meditsinskogo primeneniya*. 2012; (2): 37–9. (in Russian)
- Veselova D.V., Kolesnikova N.V., Chudilova G.A., Stepanova E.F., Rusinova T.V. Immunostimulatory effects of extract of linden flower in an experiment in vitro. *Biofarmatsevticheskiy zhurnal*. 2019; 11(3): 17–20. (in Russian)
- Temirbulatova A.M., Stepanova E.F., Veselova D.V., Lezhneva L.P. Research on the expansion of the use of extracts of *Rhodiola rosea*, *Linden cordate* and *Astragalus aspercentage* in clinical practice. *Nauchnye rezultaty biomeditsinskikh issledovaniy*. 2019; 5(1): 84–93. <https://doi.org/10.18413/2313-8955-2019-5-1-0-6> (in Russian)
- Nageswara Rao R., Talluri M.V. An overview of recent applications of inductively coupled plasma-mass spectrometry (ICP-MS) in determination of inorganic impurities in drugs and pharmaceuticals. *J. Pharm. Biomed. Anal.* 2007; 43(1): 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2006.07.004>
- Balaram V. Recent advances in the determination of elemental impurities in pharmaceuticals – status, challenges and moving frontiers. *Trends Analyt. Chem.* 2016; 80(80): 83–95. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2016.02.001>
- Shchukin V.M., Zhigilev E.S., Erina A.A., Shvetsova Yu.N., Kuzmina N.E., Lutseva A.I. Validation of an ICP-MS method for the determination of mercury, lead, cadmium, and arsenic in medicinal plants and related drug preparations. *Khimiko-farmatsevticheskiy zhurnal*. 2020; 54(9): 968–76. <https://doi.org/10.1007/s11094-020-02306-8> (in Russian)
- Mamieva E.B., Shirnina L.V. Littleleaf linden as a biological indicator of air pollution with heavy metals. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2017; (1): 34–40. <https://doi.org/10.17238/issn2071-2243.2017.1.34> (in Russian)
- Alatou H., Sahli L. Using tree leaves and barks collected from contaminated and uncontaminated areas as indicators of air metallic pollution. *Int. J. Phytoremediation*. 2019; 21(10): 985–97. <https://doi.org/10.1080/15226514.2019.1583723>
- Bezuglova O.S., Okolelova A.A. On the regulation of the content of arsenic in soils. *Zhivyye i biokosnyye sistemy*. 2012; (1): 1–11. (in Russian)
- Kasimov N.S., Vlasov D.V. Heavy metals and metalloids in urban soils of Russian cities (according to the annual reports of Rosgidromet). *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya*. 2018; (3): 14–22. (in Russian)
- Kabata-Pendias A. *Trace Elements in Soils and Plants*. Boca Raton, FL, USA: CRC Press/Taylor & Francis Group; 2010. <https://doi.org/10.1017/S0014479711000743>
- Nikiforova E.M., Kosheleva N.E. Dynamics of contamination of urban soils with lead in the eastern district of Moscow. *Eur. Soil Sci.* 2007; 40(8): 880–92.
- Grzhibovskiy A.M. Correlation analysis. *Ekologiya cheloveka*. 2008; (9): 50–9. (in Russian)
- Do Nascimento Júnior A.L., Paiva A.D.Q., Souza L.D.S., Souza-Filho L.F., Souza L.D., Fernandes Filho E.I., et al. Heavy metals distribution in different parts of cultivated and native plants and their relationship with soil content. *Int. J. Environ. Sci. Tech.* 2020; 18(1): 225–40. <https://doi.org/10.1007/s13762-020-02859-x>
- Neverova O.A. Phytoindication in assessing of environmental pollution. *Biosfera*. 2009; 1(1): 82–92. (in Russian)
- D'yakova N.A. Accumulation of heavy metals and arsenic in flowers of the small leaved lime growing in agricultural and urban ecosystems of the Voronezh region. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk. Seriya: Ekologicheskie issledovaniya*. 2020; (5): 70–9. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2021-21-4-478-487> (in Russian)
- Terekhina N.V., Ufimtseva M.D. Leaves of trees and shrubs as bioindicators of air pollution by particulate matter in Saint Petersburg. *Geogr. Environ. Sustain.* 2020; 13(1): 224–32. <https://doi.org/10.24057/2071-9388-2019-65>
- Kaygorodov R.V., Tiunova M.I., Druzhinina A.V. Polluting substances in a dust of travellers of parts and in wood vegetation of roadside strips of a city zone. *Vestnik Permskogo universiteta. Seriya: Biologiya*. 2009; (10): 141–6. (in Russian)
- Tomašević M., Aničić M., Jovanović L., Perić-Grujić A., Ristić M. Deciduous tree leaves in trace elements biomonitoring: A contribution to methodology. *Ecol. Indic.* 2011; 11(6): 1689–95. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.04.01>
- Chizzola R. Metallic mineral elements and heavy metals in medicinal plants. *Med. Aromat. Plant Sci. Biotechnol.* 2012; 6(1): 39–53.
- Šijačić-Nikolić M., Stanković D., Krstić B., Vilotić D., Ivetić V. The potential of different lime tree (*Tilia* spp) genotypes for phytoextraction of heavy metals. *Genetika*. 2012; 44(3): 537–48. <https://doi.org/10.2298/GENSR1203537S>