

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.

Федеральное государственное унитарное предприятие  
«Федеральный экологический оператор»

Федеральный научно-образовательный консорциум  
«Передовые ЭкоТехнологии»

## **ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ ГОРОДОВ**

**Сборник научных трудов**

Под редакцией д-ра биол. наук, профессора Е.И. Тихомировой

**Саратов 2023**

УДК 504.05:504.06

Э40

Экологические проблемы промышленных городов : сборник научных трудов по материалам 10-й Международной научно-практической конференции. – Саратов : ООО «Амирит», 2023. – 255 с.

ISBN 978-5-00207-275-0

Сборник научных статей составлен на основе материалов 11-й Международной научно-практической конференции «Экологические проблемы промышленных городов», которая проводилась 26-28 апреля 2023 г. на базе СГТУ имени Гагарина Ю.А. совместно с Федеральным государственным унитарным предприятием «Федеральный экологический оператор» и Федеральным научно-образовательным консорциумом «Передовые ЭкоТехнологии».

В сборнике представлены работы, в которых рассматриваются следующие вопросы: экологические, экономические и социальные проблемы загрязнения территорий промышленных городов отходами производства и потребления; методологические аспекты экологического мониторинга опасных промышленных объектов и прогнозирование состояния территорий; разработка инновационных методов экологической реабилитации техногенно нарушенных территорий; правовые и экономические аспекты экологической политики в сфере утилизации отходов и обеспечения экологической безопасности территорий промышленных городов; экологические технологии в строительстве, транспорте, энергетике и водном хозяйстве, экологическое архитектурное планирование; современные информационные технологии в экологическом мониторинге опасных промышленных объектов и территорий промышленных центров; современные методы выявления экотоксикантов в объектах окружающей среды и оценка их воздействия на экосистемы и здоровье человека; моделирование рисков здоровью населения промышленных городов.

Предназначается для научных работников, преподавателей, аспирантов и студентов, специализирующихся в области экологии.

Редакционная коллегия:

доктор биологических наук, профессор Е.И. Тихомирова (отв. редактор);  
кандидат биологических наук, доцент О.В. Абросимова  
(зам. отв. редактора)

ISBN 978-5-00207-275-0

© СГТУ имени Гагарина Ю.А., 2023

the trunk pipeline systems and the geological environment is taken into account, taking into account various factors.

Keywords: main pipelines, engineering and geological conditions, geoecology, geological environment

**М.Г. Опекунова, А.Р. Никулина, М.Ю. Федькина**

Санкт-Петербургский государственный университет, Россия

## **ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ БИОИНДИКАЦИИ ПРИ МОНИТОРИНГЕ СОСТОЯНИЯ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ**

Изучен химический состав почвогрунтов, корки тополя *Populus balsamifera*, морфологические характеристики и содержание металлов (Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Sb, Sc, Sr, V, Zn) в листьях липы *Tilia cordata* на территории нескольких районов Санкт-Петербурга. Дана оценка токсичности почвогрунтов с использованием *Daphnia magna* и *Chlorella vulgaris*. Предложен интегральный биоиндикационный показатель *BIP* (Bioindication integral parameter), учитывающий степень трансформации отдельных компонентов окружающей среды под воздействием антропогенной нагрузки. Показана эффективность применения *BIP* при экологическом мониторинге состояния окружающей среды в городах.

Ключевые слова: биоиндикация, биотестирование, загрязнение, металлы, почвогрунты, интегральный биоиндикационный показатель, *Daphnia magna* Straus, *Chlorella vulgaris* Beijer.

Загрязнение городской среды имеет комплексный и мультикомпонентный характер, связанный с воздействием различных источников загрязнения – автотранспорта, промышленных предприятий, жилой застройки и др. Среди факторов среды обитания, оказывающих влияние на здоровье людей, приоритетным остается загрязнение атмосферного воздуха, а вклад химических факторов (загрязнение воздуха, питьевой воды, почвы) в заболеваемость населения достигает 53,85% [1]. Целью настоящих исследований является изучение эффективности применения методов биоиндикации при мониторинге состояния городской среды на примере Санкт-Петербурга.

Исследования проводились на сети станций мониторинга (СМ) в Василеостровском (ВО) и Московском районах Санкт-Петербурга в 2009, 2018 и 2021 гг. [2, 3]. Определение валового содержания металлов (Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Sb, Sc, Sr, V, Zn) в почвогрунтах выполнено в Центральной лаборатории ВСЕГЕИ им. А.П. Карпинского методом ИСП МС. Содержание металлов в растениях (корка *Populus balsamifera* L.; листья *Tilia cordata* Mill.; лишайниковые «ловушки» *Cladonia stellaris* (Opiz) Pouzar et Vězda, экспонировавшиеся 2 месяца) и концентрации подвижных форм металлов в почвогрунтах установлены в ресурсном центре «Методы анализа состава вещества» СПбГУ, аналитик В.Н. Григорьян. Биотестирование почвогрунтов проведено с использованием *Daphnia magna* Straus и *Chlorella vulgaris* Beijer.

Для оценки состояния окружающей среды в городах предложен интегральный биоиндикационный показатель *BIP* с использованием функции желательности Харрингтона [4], который учитывает степень превышения концентраций металлов в растениях по сравнению с кларком [5] и изменение интегрального показателя флуктуирующей асимметрии (ИПФА) относительно нормы, равной 0,040 [6]. Весовым коэффициентам на ВО присвоены следующие значения: корка тополя  $\alpha_{кт}$ , лишайник  $\alpha_{л}$  по 0,3; листья липы ( $\alpha_{лл}$ ) и их ИПФА ( $\alpha_{ФЛл}$ ) – по 0,2. Факторный анализ методом главных компонент (ФА МГК) проведён в программном пакете «Statistica».

Сопряженный анализ химического состава почвогрунтов и растений, морфологических отклонений у растений, биотестирования указывает на выраженное загрязнение вдоль автомагистралей, железнодорожных путей, на перекрестках и в промышленных зонах. *BIP* на ВО в среднем составляет 0,83 (низкий уровень превышений нормативов) с размахом выборки 0,45-0,95. Наиболее загрязненные СМ – ул. Беринга, 38; Опочининский сад; парк Василеостровец; 19-я линия ВО на пересечении с Малым проспектом в Василеостровском районе; в Московском районе: Пулковское, Волхонское, Московское шоссе; ул. Малая Митрофаневская, 13; ул. Рыбинская, 5; ул. Кубинская, 90; ул. Оржоникидзе, 57; ул. Заставская, 30; ул. Цветочная, 18; ул. Варшавская, 22; пр. Московский, 79 и 212; пр. Любопытинский, 7; ж/д ст. «Дачное». Отмечены превышения кларков Ba, Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Sr, Zn для растений; ОДК валового содержания Ba, Co, Cu, Fe, Pb, Zn и ПДК подвижных форм Pb, Zn, Cd в почвогрунтах (табл. 1). В городских условиях подвижность отдельных элементов (Cd, Mn, Zn) увеличивается в среднем до 10-20%, доля подвижных форм Cd может достигать 96%. ФА МГК указывает на аэротехногенный путь поступления поллютантов в депонирующие среды (вес фактора – 40,0-87,2%).

В листьях липы за счет экспонирования лишь в течение сезона вегетации концентрации Cr, Fe, Ni, Ti, Zn ниже по сравнению с коркой *P. balsamifera* в 2–5,5 раз; Cd, Pb и V – в 14-26 раз; содержания Ba, Cu, Mn сопоставимы. Коэффициенты биологического и биогеохимического поглощения указывают на интенсивное поглощение коркой тополя Cd, Zn, Cu, Ni, Pb. За 2 месяца экспонирования лишайниковых ловушек *C. stellaris* на ВО отмечено увеличение концентраций Cr в 16 раз; Zn в 2,4 раза; Cu, Fe в 2 раза; Mn в 1,6 раза. ИПФА (0,039 – 0,169) преимущественно указывает на V уровень загрязнения на ВО («очень грязно»). Не выявлено значимой корреляции между ИПФА листьев липы и концентрациями металлов в почвогрунтах и растениях. Рекомендуется использовать данный показатель только совместно с изучением химического состава растений.

При сравнении полученных данных с результатами 1998 и 2009 гг. на ВО отмечен тренд увеличения рН в «квадрате» от 18-19 до 10-11 линий ВО с запада на восток и от Среднего проспекта ВО на юге до ул. Одоевского на севере, что может свидетельствовать о снижении выбросов подкисляющих веществ на данной территории. В целом на ВО с 1998 г. снизилось содержание Ba, Cd, Co,

Ti, V в корке тополя; ниже уровня 1998 г., но выше 2009 г. – концентрации Cr, Pb, Zn; практически без изменений осталось содержание Cu, Fe, Mn, Ni. В то же время практически на всех СМ отмечено увеличение зольности. В Московском районе отмечается тенденция сохранения концентраций подвижных форм Cd, Cu, Pb, Zn в почвогрунтах на уровне 2018 г. при возрастании содержаний Mn; увеличивается накопление Cu, Fe, Pb в корке по сравнению с 2009, 2018 гг.

Таблица 1

Статистические параметры концентраций металлов

Параметры		Василеостровский район (n = 36)			Московский район (n = 30)			
		среднее	min	max	среднее	min	max	
Почвогрунты	pH	7,41 ± 0,13	6,35	8,13	7,37 ± 0,19	6,15	8,05	
	Концентрации подвижных форм металлов, мг/кг	Ba	24 ± 4,4	8,0	62	23 ± 1,3	9,2	41
		Cd	0,32 ± 0,14	0,06	2,5	0,20 ± 0,02	0,10	0,50
		Co	0,40 ± 0,09	0,08	1,3	<0,02		
		Cr	0,22 ± 0,14	<0,02	2,0	0,42 ± 0,05	0,13	1,3
		Cu	4,0 ± 0,51	0,31	99	3,8 ± 1,2	0,05	34
		Fe	45 ± 18,9	7,5	241	109 ± 36	8,9	995
		Mn	36 ± 4,0	14,7	61	57 ± 4,1	21	100
		Ni	0,71 ± 0,35	0,06	6,0	0,70 ± 0,11	0,20	3,3
		Pb	10,0 ± 3,0	0,95	38	6,3 ± 1,2	0,62	32
		Sr	н/д*			10,4 ± 0,95	3,7	29
		Ti	0,08 ± 0,02	<0,02	0,25	0,06 ± 0,01	0,004	0,2
		V	0,14 ± 0,05	<0,02	0,22	н/д		
Zn	56 ± 24,4	7,8	341	40 ± 7,1	6,6	184		
Корка <i>P. balsamifera</i>	pH	6,43 ± 0,25	5,50	7,80	6,32 ± 0,98	4,62	7,82	
	Зольность, %	8,9 ± 0,77	5,5	13,6	12,8 ± 1,7	7,8	56,7	
	Содержание металлов, мг/кг сухого вещества	Ba	25 ± 2,7	10,4	44	29 ± 2,1	7,1	56
		Cd	0,49 ± 0,09	0,21	1,2	0,95 ± 0,13	0,45	4,5
		Co	0,16 ± 0,15	<0,02	1,2	<0,02		
		Cr	2,0 ± 0,55	0,30	6,3	1,6 ± 0,19	0,63	6,3
		Cu	17,1 ± 2,8	9,0	33	40 ± 9,5	13,0	303
		Fe	386 ± 87	23	870	969 ± 17	104	2820
		Mn	18,7 ± 4,0	10,0	53	29 ± 1,2	13,4	44
		Ni	3,2 ± 0,46	1,3	5,9	5,1 ± 0,5	2,2	15,4
		Pb	6,9 ± 1,8	2,0	23	13,3 ± 1,3	4,0	28
		Sr	н/д			57 ± 2,0	30	80
		Ti	5,7 ± 1,3	<0,02	14,3	16,1 ± 5,6	5,2	177
V		3,4 ± 0,84	0,85	9,1	н/д			
Zn	148 ± 21	81	348	166 ± 10,2	10,3	285		

\*н/д – данные отсутствуют

Проведенные исследования показали, что методы биоиндикации эффективны при проведении экологического мониторинга в городах, при этом для интегральной оценки экологического состояния территории важно использовать комплекс методов – химический состав почвогрунтов и растений, морфологические признаки, моховые и лишайниковые ловушки,

биотестирование. В список приоритетных металлов для определения стоит включить Ва, Cd, Co, Cu, Fe, Ni, Pb, V, Zn. Интегральный биоиндикационный показатель может быть использован при экологическом мониторинге для сравнения уровня загрязнения на разных площадках.

#### Литература

1. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2020 году. Государственный доклад. М.: Минприроды России; МГУ им. М.В. Ломоносова, 2021. 864 с.
2. Опекунова, М.Г., Захарян, Л.С., Вокуева, О.В., Константинова, А.Ф. Экологический мониторинг загрязнения Василеостровского района Санкт-Петербурга с использованием тополя бальзамического (*Populus balsamifera* L.) // Известия РГО. 2011. Т. 143 № 2. С. 31-44.
3. Опекунова М.Г., Никулина А.Р., Лутовинова Д.Д., Мельник А.В., Дергилева Е.В., Грантовская М.В., Вольнова Т.Н. Сравнительный анализ результатов мониторинговых исследований состояния окружающей среды в Василеостровском районе Санкт-Петербурга с применением методов биоиндикации // Охрана окружающей среды – основа безопасности страны: сб. статей по материалам Междунар. науч. экол. конф. / отв. за вып. А. Г. Кощачев. Краснодар: КубГАУ, 2022. С. 378-382.
4. Опекунов А.Ю., Опекунова М.Г. Интегральная оценка загрязнения ландшафта с использованием функции желательности Харрингтона // Вестник СПбГУ. Геология. География. 2014. № 4. С. 101-113.
5. Добровольский В.В. Основы биогеохимии. М.: Изд. центр «Академия», 2003. 400 с.
6. Захаров В.М., Баранов А.С., Борисов В.И., Валецкий А.В., Кряжева Н.Г., Чистякова Е.К., Чубинишвили А.Т. Здоровье среды: методика оценки. М.: Центр экологической политики России, 2000. 68 с.

**M.G. Opekunova, A.R. Nikulina, M.Yu. Fed'kina**

St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

#### **ON THE EFFICIENCY OF THE APPLICATION OF BIOINDICATION METHODS IN MONITORING THE STATE OF THE URBAN ENVIRONMENT**

The chemical composition of soils, poplar bark *Populus balsamifera*, morphological characteristics and metal content (Zn, Cu, Ni, Co, Pb, Cd, Cr) in linden leaves in several districts of St. Petersburg were studied. Soil toxicity was assessed using *Daphnia magna* and *Chlorella vulgaris*. An bioindicative integral indicator (BIP) is proposed, which takes into account the degree of transformation of individual components of the environment under the influence of anthropogenic load. The effectiveness of BIP application in environmental monitoring of the state of the environment in cities is shown.

Keywords: bioindication, biotesting, pollution, metals, soils, bioindicative integral parameter, *Daphnia magna* Straus, *Chlorella vulgaris* Beijer.

Научное издание

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ ГОРОДОВ

Сборник научных трудов

Под редакцией д-ра биол. наук, профессора Е.И. Тихомировой

Ответственный за выпуск канд. биол. наук, доцент О.В. Абросимова

*За достоверность представленных в сборнике сведений и изложенной научной терминологии несут ответственность авторы статей*

Подписано в печать 05.06.2023.

Формат 60×84 1/16. Гарнитура Times New Roman. Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 14,82. Тираж 100 экз. Заказ № 2415-23.

Саратовский государственный технический университет имени Гагарина  
Ю.А. 410054 г. Саратов, ул. Политехническая, 77

Отпечатано в ООО «Амирит» 410004, г. Саратов, ул. Чернышевского., 88.  
Тел. 8-800-700-86-33 | (8452)24-86-33,  
e-mail: [zakaz@amirit.ru](mailto:zakaz@amirit.ru)  
Сайт: amirit.ru