

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФГБОУ ВО «Кубанский государственный
аграрный университет имени И. Т. Трубилина»

ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ – ОСНОВА БЕЗОПАСНОСТИ СТРАНЫ

Сборник статей
по материалам Международной научной
экологической конференции,
посвященной 100-летию КубГАУ

29–31 марта 2022 г.

Краснодар
КубГАУ
2022

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет
имени И. Т. Трубилина»

ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ – ОСНОВА БЕЗОПАСНОСТИ СТРАНЫ

Сборник статей
по материалам Международной научной
экологической конференции,
посвященной 100-летию КубГАУ

29–31 марта 2022 г.

Краснодар
КубГАУ
2022

УДК 504(06)
ББК 20:18
О-92

Редакционная коллегия:

А. И. Трубилин, И. С. Белюченко, А. В. Смагин, А. Х. Шеуджен,
С. Б. Криворотов, А. А. Макаренко, В. В. Корунчикова, Л. С. Новопольцева
ответственный за выпуск – А. Г. Коцаев

О-92 **Охрана окружающей среды – основа безопасности страны** : сб. статей по материалам Междунар. науч. экол. конф. / отв. за вып. А. Г. Коцаев. – Краснодар : КубГАУ, 2022 – 690 с.

ISBN 978-5-907550-82-7

В сборнике представлены результаты исследований ученых и специалистов-экологов в сфере решения острых экологических проблем, прямо или косвенно затрагивающих вопросы экономической и геополитической безопасности страны. В первую очередь это повышение продуктивности и качества с.-х. продукции при сохранении плодородия почв и эстетики природных ландшафтов через экологизацию земледелия и животноводства; сохранение природы не только путем бережного отношения к ее ресурсам, но и вторичного использования отходов в качестве сырья. Не менее важным аспектом является и поддержание физического и психического здоровья населения благодаря сохранению биоразнообразия, мониторингу и контролю загрязнений окружающей среды, где огромную роль играют как экологическое образование населения и молодежи, так и современные информационные технологии и методические разработки для успешной научно обоснованной охраны природы.

Предназначен исследователям и практикам в различных отраслях производства и природоохранной деятельности с целью оздоровления окружающей среды и предотвращения экологических кризисов.

УДК 504(06)
ББК 20:18

ISBN 978-5-907550-82-7

© Коллектив авторов, 2022
© ФГБОУ ВО «Кубанский
государственный аграрный
университет имени
И. Т. Трубилина», 2022

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ МОНИТОРИНГОВЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ
В ВАСИЛЕОСТРОВСКОМ РАЙОНЕ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА
С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ БИОИНДИКАЦИИ**

Опекунова Марина Германовна, *д-р географ. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет»*, **Россия**, Санкт-Петербург, *m.opkunova@mail.ru*

Никулина Анна Романовна, *ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет»*, *студент*, **Россия**, Санкт-Петербург, *anna.2001-nik@mail.ru*

Лутовинова Дарья Дмитриевна, *ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет»*, **Россия**, Санкт-Петербург, *dasha.lutovinova@mail.ru*

Мельник Алиса Витальевна, *ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет»*, *студент*, **Россия**, Санкт-Петербург, *alicee2001@mail.ru*

Дергилева Елизавета Валерьевна, *ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет»*, *студент*, **Россия**, Санкт-Петербург, *elizaveta2411@mail.ru*

Грантовская Мария Владимировна, *ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет»*, *студент*, **Россия**, Санкт-Петербург, *st076548@student.spbu.ru*

Вольнова Татьяна Николаевна, *ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет»*, *студент*, **Россия**, Санкт-Петербург, *tatya.volnova@gmail.com*

В статье представлены результаты геоэкологических исследований на территории Василеостровского района Санкт-Петербурга с использованием различных биоиндикационных признаков, дана оценка их информативности. Изучено валовое содержание и концентрация подвижных форм химических элементов (Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Ti, V, Zn) в почвогрунтах. Определен химический состав корки тополя *Populus balsamifera*, рассчитан интегральный показатель флуктуирующей асимметрии (ИПФА) листьев липы *Tilia cordata*. Произведен подсчет автотранспорта и рассчитаны выбросы загрязняющих веществ. Обнаружена взаимосвязь между содержаниями Zn, Cd, V, Fe в почвогрунтах и корке тополя. Выявлены ассоциации ТМ, являющиеся индикаторами техногенного загрязнения (Pb, Ba, Ni, Cu – Zn, Cr, Ni – Mn, Fe, Co). Установлена зависимость химического состава почвогрунтов и корки *Populus balsamifera* с показателями флуктуирующей асимметрии и хлорозом листьев *Tilia cordata*. Показано, что основными источниками загрязнения на территории Василеостровского района являются автомобильный транспорт, из промышленных предприятий наибольшее влияние оказывают Балтийский завод и меховая фабрика «Рот-Фронт».

Ключевые слова: загрязнение, тяжелые металлы, почвогрунты, корка *Populus balsamifera* Vieb., флуктуирующая асимметрия листьев липы *Tilia cordata* Mill.

**COMPARATIVE ANALYSIS OF THE RESULTS OF ENVIRONMENTAL
MONITORING IN THE VASILEOSTROVSKY DISTRICT
OF ST. PETERSBURG USING THE BIOINDICATION METHODS**

**Opekunova M. G., Nikulina A. R., Lutovinova D. D., Melnik A. V.,
Dergileva E. V., Grantovskaya M. V., Volnova T. N.**

The article presents the results of environmental studies on the territory of the Vasileostrovsky district of St. Petersburg using various bioindicative features, and assesses their informativity. The total content and concentration of mobile forms of chemical elements (Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Ti, V, Zn) in soils have been studied. The chemical composition of poplar bark *Populus balsamifera* was determined, and the integral index of fluctuating asymmetry of linden leaves *Tilia cordata* was calculated. Vehicles were counted and pollutant emissions were calculated. A relationship has been found between the contents of Zn, Cd, V, Fe in soils and poplar bark. Associations of HMs that are indicators of anthropogenic pollution (Pb, Ba, Ni, Cu-Zn, Cr, Ni-Mn, Fe, Co) have been identified. The relationship between the chemical composition of soils and the bark of *Populus balsamifera* and fluctuating asymmetry and leaf chlorosis of *Tilia cordata* has been established. It is shown that the main sources of pollution in the territory of the Vasileostrovskiy district are road transport, among industrial enterprises the Baltic plant and the fur factory "Rot-Front" have the greatest influence.

Keywords: pollution, heavy metals, soils, bark of *Populus balsamifera* Vieb., fluctuating asymmetry of *Tilia cordata* Mill.

Санкт-Петербург – многомиллионный мегаполис и крупный промышленный центр, качество атмосферного воздуха в котором определяют выбросы автотранспорта и стационарных источников: теплоэлектростанций и промышленных предприятий. Одним из неблагоприятных в городе по уровню загрязнения окружающей среды считается Василеостровский район [7]. Данные о состоянии атмосферного воздуха в районе получают интервальным отбором проб на передвижных и одной станции автоматического мониторинга. При этом кратковременные и залповые выбросы могут быть не зарегистрированы, вклад локальных источников загрязнения и распределение поллютантов по территории определить не представляется возможным. Для решения таких задач в городах перспективной признана биоиндикация – метод, основанный на изучении реакции живых организмов на воздействие загрязнения. Биоиндикаторы суммируют все биологически важные данные об окружающей среде и отражают ее состояние в целом; благодаря аккумуляции указывают на слабые изменения; реагируют как на хроническое загрязнение, так и на залповые выбросы. Использование зеленых насаждений в качестве биоиндикаторов – доступный и дешевый метод оценки окружающей среды, однако выбор показательного и достоверного индикатора остается задачей, требующей глубоких знаний и практического опыта.

Цель исследования – определение наиболее эффективных методов биоиндикации для оценки качества окружающей среды в условиях многофакторного и поликомпонентного загрязнения города.

Экологические исследования проводились на 30 станциях мониторинга (СМ) в Василеостровском районе г. Санкт-Петербурга в июле 2021 г. В комплекс исследований входили детальная характеристика: застройки, локальные источники загрязнения и интенсивность движения автотранспорта; видовой состав зеленых насаждений, суховершинность и класс хлороза листьев липы *Tilia cordata*; а также отбор проб почвогрунтов (далее – почв), корки *Populus balsamifera* Vieb. и листьев *Tilia cordata* Mill. [4, 6]. Измерение флуктуирующей асимметрии (ФА) листьев липы осуществлялось по 4 парным морфологическим признакам [2]. Показатель для каждого параметра вычислялся по формуле $(Л - П) / (Л + П)$, где Л – левый промер, П – правый промер. Интегральный показатель ФА (ИПФА) рассчитывался как среднее по всем параметрам для всех листьев. Выбросы загрязняющих веществ автомобильным транспортом рассчитывали на основе учета автотранспортных средств по методическим указаниям [3]. Анализ рН, зольности корки и подготовка проб к определению подвижных форм металлов (Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Ti, V, Zn) осуществлены согласно лабораторным методикам [5], анализ валового содержания металлов с полным кислотным разложением проб почв выполнен методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой на приборе «ELAN-6100 DRC» в лаборатории ВСЕГЕИ им. А. П. Карпинского. Содержание подвижных форм металлов в почвах и химический состав растений определены в ресурсном центре «Методы анализа состава вещества» СПбГУ, аналитик В. Н. Григорьян. Математическая обработка результатов осуществлена с использованием описательной статистики в программе Excel.

Полученные результаты показали, что почвы Василеостровского района характеризуются нейтральной и слабощелочной реакцией почвенных растворов с рН 7,41 (6,35–8,13). Кислотность корки тополя изменяется от 5,47 до 7,80 при среднем значении $6,43 \pm 0,25$. Более высокие показатели отмечены вблизи жилых строений и во внутренних дворах домов, это указывает на подщелачивающий эффект городских построек. Обнаружена тенденция увеличения рН с $5,67 \pm 0,38$ в 1998 г. и $5,72 \pm 0,21$ в 2014 г. [4, 6] до $6,43 \pm 0,25$ в центральной части острова.

Большинство почв района характеризуются высоким валовым содержанием тяжелых металлов (ТМ). Отмечены многократные (6–13 раз) превышения ОДК Pb, Zn, Co, Cu, Fe и Ba (таблица 1). Содержание подвижных форм Pb, Zn и Cd в большинстве проб превышает ПДК. Значительный разброс валового содержания ТМ и их подвижных форм обусловлен воздействием локальных источников загрязнения и особенностями функциональных зон, в которых расположены СМ.

Индикаторами загрязнения от автотранспорта и промышленных предприятий являются Cu, Ni, Zn и Pb; в почвогрунтах вблизи автомагистралей и крупных перекрестков отме-

чено превышение их ПДК и ОДК. Суммарный показатель загрязнения почв [8] в среднем для территории острова составил 64, что соответствует «опасной» категории загрязнения. Высокие значения Zc характерны для почв промышленной зоны и площадок, находящихся на перекрестках и улицах с интенсивным движением ($Zc > 65$). Наименьший показатель получен для почв закрытых дворов-колодцев ($Zc = 35$), в парках он увеличивается до 40.

Таблица 1 – Статистические параметры валового содержания некоторых ТМ (в числителе) и их подвижных форм (в знаменателе) в почве (n=30)

| Классы опасности | I | | II | | | | III | | IV | |
|-------------------------------|--|-----------|-------------|-----------|-----------|------------|-------------|-------------|------------|--------------|
| | Содержание химических элементов, мг/кг | | | | | | | | | |
| Параметры | Cd | Pb | Zn | Co | Ni | Cu | Cr | Mn | Ba | Fe |
| Среднее содержание (X), мг/кг | <0.5 0,32 | 113 10 | 401 56 | 14 0,4 | 27 0,7 | 107 4,3 | 47 0,2 | 547 36 | 778 24 | 28172 45 |
| Минимальное, мг/кг | <0.5 0,06 | 41 1,0 | 111 7,8 | 5 0,1 | 10 0,1 | 29 0,3 | 16 <0,02 | 231 14,7 | 643 8,0 | 12740 7,5 |
| Максимальное (max), мг/кг | 3,3 2,5 | 376 38 | 1470 341 | 30 1,3 | 61 6,0 | 369 99 | 125 2,0 | 847 61 | 988 62 | 50260 241 |
| ОДК или *кларк [8] | 1.0 | 65 | 110 | *8 | 40 | 66 | *70 | *850 | *500 | *40000 |
| ПДК [8] | 0,24 | 6 | 23 | 5 | 4 | 3 | 6 | - | - | - |
| Отношение X к ОДК/кларку | 0.5 | 2 | 3.5 | 1.7 | 0.6 | 1.5 | 0.2 | 0.6 | 1.5 | 1.1 |
| Отношение max к ОДК | 3 | 6 | 13 | 3.8 | 1.5 | 5.5 | 0.6 | 0.9 | 2 | 2 |

Индикатором нарушений в массообмене растений в результате антропогенной деятельности служит возрастание их зольности (до 10,2–13,6 % при среднем 8,9 %) и накопление ТМ (таблица 2). На СМ с интенсивным автомобильным движением превышены кларки Ba, Cd, Cu, Ni, Pb, V, Zn, индицирующие загрязнение выхлопными газами, продуктами истирания резины и коррозии металлов. Накопление Cr, V, Cd, Co в корке *P. balsamifera* наблюдается также около Балтийского завода и Меховой фабрики «Рот-Фронт», а также в саду Академии Художеств. Низкий уровень зольности (5,5–6,9 %) и содержания ТМ в корке *P. balsamifera* характерен для СМ, расположенных в закрытых дворах, что хорошо согласуется с химическим составом почв. С помощью корреляционного анализа выделено три группировки металлов Pb, Ba, Ni, Cu – Zn, Cr, Ni – Mn, Fe, Co, характеризующих поступление поллютантов от автотранспорта. F- и t-критерии подтвердили достоверное увеличение в 1,5–3 раза концентрации Co, Ni, Zn, Cr, Cu, Fe за последние 7 лет, что связано как с передвижными, так и со стационарными источниками загрязнения. Содержание Cd, Mn и Pb в корке тополя сохранилось на уровне прошлых лет [4, 6].

Таблица 2 – Статистические параметры суммарного показателя загрязнения почв, зольности, содержания ТМ в корке тополя и биоиндикационных признаков на СМ

| Параметры | Среднее + ошибка 5% | Минималь- ное | Максималь- ное | Кларк раститель- ности суши [1] | |
|--|------------------------|------------------|-------------------|------------------------------------|-------|
| Суммарный показатель загрязнения почв Zc | 64 ± 3,5 | 35 | 66 | - | |
| pH корки тополя, n=30 | 6,43 ± 0,25* | 5,47 | 7,80 | - | |
| Содержание химиче- ских элементов, мг/кг сухой массы, n=30 | Ba | 26 ± 2,7 | 10,4 | 44 | 22,5 |
| | Cd | 0,49 ± 0,09 | 0,21 | 1,2 | 0,035 |
| | Co | 1,0 ± 0,23 | 0,70 | 1,2 | 0,5 |
| | Cr | 2,0 ± 0,56 | 0,30 | 6,3 | 1,8 |
| | Cu | 17,0 ± 2,8 | 9,0 | 33 | 8 |
| | Fe | 386 ± 87 | 23 | 870 | 300 |
| | Mn | 18,7 ± 4,0 | 10,0 | 53 | 205 |
| | Ni | 3,2 ± 0,46 | 1,3 | 5,9 | 2 |
| | Pb | 7,0 ± 1,8 | 2,0 | 23 | 1,25 |
| | Ti | 6,0 ± 1,3 | 0,43 | 14,3 | 32,5 |
| V | 3,4 ± 0,84 | 0,85 | 9,1 | 1,5 | |
| Zn | 148 ± 21 | 81 | 348 | 30 | |
| ИПФА листьев <i>Tilia cordata</i> | 0,083 ± 0,01 | 0,039 | 0,169 | - | |
| Хлороз листьев <i>Tilia cordata</i> | 3 ± 0,5 | 1 | 4 | - | |

Флуктуирующая асимметрия листьев липы *Tilia cordata* соответствует V уровню загрязнения («очень грязно (вредно)»). Наибольшая ФА характерна для открытых пространств с оживленными автомагистралями и промышленными предприятиями. Отмечено увеличение степени хлороза и ФА листьев липы по мере приближения к стационарным и передвижным источникам загрязнения атмосферного воздуха (4 класс хлороза и V класс ФА). Значимый коэффициент парной корреляции установлен между кислотностью корки тополя и ФА листьев липы (-0,64). Кроме того, данные биоиндикационных исследований хорошо согласуются с результатами расчетов валовых выбросов от автотранспорта. На СМ, находящихся вблизи дорог, балл качества среды по ИПФА V соответствует уровню «очень грязно». Наличие суховершинности хорошо соотносится со значениями ФА листьев («очень грязно – вредно») и классами хлороза *Tilia cordata* (3-й класс). Сопряженный анализ биоиндикационных признаков и химического состава почв и корки тополя показал высокую степень сходимости. Согласно расчету коэффициентов корреляции Спирмена, хлороз листьев липы согласуется с накоплением Ba, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, Ti и зольностью корки тополя.

Таким образом, наиболее эффективными методами биоиндикации представляются определение концентраций ТМ в корке древесных пород (например *Populus balsamifera*) при обязательном сравнении с содержанием поллютантов в почвогрунтах (валовые концентрации и их подвижные формы). Такие биоиндикационные показатели, как флуктуирующая асимметрия и хлороз листьев липы, зольность и рН корки тополя, наличие суховершинности, позволяют дополнить информацию, полученную по результатам химического анализа почв и растений, уточнить степень загрязнения отдельных участков. Использование различных видов деревьев и биоиндикационных признаков повышает объективность проводимых исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Добровольский В. В. Основы биогеохимии / В. В. Добровольский. – М. : Изд. центр «Академия», 2003. – 400 с.
2. Захаров В. М. Здоровье среды: методика оценки / В. М. Захаров, А. С. Баранов, В. И. Борисов [и др.]. – М. : Центр экологической политики России, 2000. – 68 с.
3. Методика расчета годовых выбросов передвижных источников на автомагистралях Санкт-Петербурга на основе обследования структуры автотранспортных потоков. – СПб, 2018. – 43 с.
4. Опекунова М. Г. Экологический мониторинг загрязнения Василеостровского района Санкт-Петербурга с использованием тополя бальзамического (*Populus balsamifera* L.) / М. Г. Опекунова, Л. С. Захарян, О. В. Вокуева, А. Ф. Константинова // Известия РГО. – 1434 (2). – 2011. – С. 31–44.
5. Опекунова М. Г. Методы физико-химического анализа почв и растений : метод. указания / М. Г. Опекунова, И. Ю. Арестова, Е. Ю. Елсукова, Н. А. Шейнерман. – СПб. : изд-во СПбГУ, 2015. – 86 с.
6. Опекунова М. Г. Экологический мониторинг загрязнения Василеостровского района Санкт-Петербурга с использованием методов фитоиндикации / М. Г. Опекунова, Д. И. Кошелева // Экологические проблемы промышленных городов: сб. науч. тр. – Саратов : Саратовский ГТУ им. Гагарина Ю. А., 2015. – С. 160–163.
7. Правительство Санкт-Петербурга. Доклад об экологической ситуации в Санкт-Петербурге в 2020 году / Ред. Д. С. Беляев, И. А. Серебрицкий. – Ижевск : ООО «ПРИНТ». – 2021. – 253 с.
8. Санитарные правила и нормы СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2021. – 990 с.