

*На правах рукописи*



**Авдощенко Виктория Геннадьевна**

**ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ В ПОЧВАХ,  
ДРЕВЕСНЫХ И ТРАВЯНИСТЫХ РАСТЕНИЯХ  
ПЕТРОПАВЛОВСК-КАМЧАТСКОГО ГОРОДСКОГО ОКРУГА**

1.5.15 – Экология (биологические науки)

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата биологических наук

Петропавловск-Камчатский – 2021

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Камчатский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «КамчатГТУ»)

**Научный руководитель:** **Климова Анна Валерьевна**,  
кандидат биологических наук,  
ФГБОУ ВО «Камчатский государственный  
технический университет»,  
отдел науки и инноваций, заведующий сектором

**Официальные оппоненты:** **Захарихина Лалита Валентиновна**,  
доктор биологических наук,  
ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр  
«Субтропический научный центр РАН»,  
лаборатория геоэкологии и природных  
процессов, ведущий научный сотрудник

**Дахно Ольга Александровна**,  
кандидат биологических наук,  
ФГБНУ «Камчатский научно-исследовательский  
институт сельского хозяйства»,  
заместитель директора по научной работе

**Ведущая организация:** ФГБНУ «Научно-исследовательский  
геотехнологический центр ДВО РАН»  
(НИГТЦ ДВО РАН), г. Петропавловск-Камчатский

Защита состоится «23» декабря 2021 г. в 10:00 на заседании диссертационного совета 37.2.005.01 при ФГБОУ ВО «Камчатский государственный технический университет» по адресу: г. Петропавловск-Камчатский, ул. Ключевская, д. 35

Отзывы на автореферат направлять по адресу: 683003, г. Петропавловск-Камчатский, ул. Ключевская, д. 35. Диссертационный совет 37.2.005.01. Телефон: (4152) 300-877, факс: (4152) 42-05-01, e-mail: oni@kamchatgtu.ru

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «КамчатГТУ» по адресу: [www.kamchatgtu.ru](http://www.kamchatgtu.ru)

Автореферат разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
кандидат биологических наук



Климова Анна Валерьевна

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность исследования.** Окружающая среда крупных городов России в зависимости от природно-климатических особенностей, плотности населения, размещения городской инфраструктуры и промышленного производства имеет разный уровень загрязнения теми или иными поллютантами. Особое место среди них занимают тяжелые металлы (ТМ). В большинстве случаев их накопление связано с антропогенным воздействием (Salgare, Acharekar, 1992; Davydova, 2005; Sharma, Agrawal, 2005; Duruibe et al., 2007; Chibuike, Obiora, 2014). Наибольшая концентрация ТМ наблюдается, как правило, в почве, поскольку именно в ней концентрируется металлическое загрязнение, содержащееся в атмосфере.

Из почвы с минеральным питанием ТМ попадают в растения. После завершения их вегетации ТМ вновь возвращаются в почву, и таким образом оказывается длительное негативное воздействие на наземный растительный покров (Воскресенский, Воскресенская, 2011; Масленников и др., 2015, 2016; Nazrat et al., 2019). Неудивительно, что именно растения являются надежными индикаторами металлического загрязнения урбанизированных территорий и используются для оценки их экологического состояния. Она, в свою очередь, важна для выбора мест размещения социально ориентированных объектов застройки, планирования работ по оздоровлению городской среды, оценки качества жизни и здоровья населения разных городов и их районов.

В большинстве крупных промышленных центров и городов России с середины прошлого века ведутся непрерывные исследования, направленные на оценку уровня загрязнения городской среды ТМ. На Камчатке их накопление в почве и у высших растений изучали Л. В. Захарихина и Ю. С. Литвиненко (2018, 2019а, 2019б). Целью этих исследований было выявление связи элементного состава фоновой растительности и почвы с вулканической деятельностью.

Город Петропавловск-Камчатский, являющийся краевым центром, остался за рамками этих исследований. Между тем он интересен своим линейным расположением вдоль побережья Авачинской губы. Его почвенно-растительный покров подвержен воздействию вулканической деятельности, которая вносит специфику в геохимический состав компонентов его территорий. Отдельные районы города отличаются микроклиматом, плотностью застройки, функциональным использованием, загруженностью автодорог и загрязнением атмосферного воздуха (Доклад об экол. ситуации ..., 2019, 2020).

Городская флора Петропавловска-Камчатского также имеет свои неповторимые особенности. Выбор в ней видов – индикаторов металлического загрязнения, разработка методов их анализа и выявление в пределах краевого центра очагов загрязнения ТМ является актуальной задачей. Ее решение необходимо для оценки экологического состояния окружающей среды в разных районах Петропавловск-Камчатского городского округа (ПКГО) и выбора управленческих решений для его улучшения.

**Цель и задачи исследования.** В связи с вышесказанным целью настоящей работы является оценка уровня металлического загрязнения в пределах Петропавловск-Камчатского городского округа на основе содержания ТМ в почвах, у видов древесных и травянистых растений; выявление причин, обуславливающих межгодовые колебания их содержания в почвенно-растительном покрове.

Для достижения цели было необходимо решить следующие **задачи**:

1. Проанализировать особенности почв и растительности Петропавловск-Камчатского городского округа, а также распределение вдоль города источников антропогенного загрязнения, обосновать выбор районов для отбора почвенных образцов, проб растений древесного и травянистого ярусов.

2. Определить в пробах почв, разных видов древесных и травянистых растений, собранных в летний период 2017–2020 гг., содержание меди, цинка, свинца и кадмия.

3. Изучить особенности накопления видами растений разных ТМ, выявить виды, способные к повышенной аккумуляции каждого из них; на примере одного из видов проследить особенности накопления меди, цинка, свинца и кадмия в его разных вегетативных органах.

4. На основе данных, полученных в ходе химических анализов собранных проб, оценить уровень металлического загрязнения разных районов Петропавловск-Камчатского городского округа как по отдельным элементам, так и по их совокупности, с использованием утвержденных в РФ нормативных показателей по данному виду загрязнения.

5. Выявить особенности межгодовых колебаний содержания отдельных элементов в собранных почвенных и растительных пробах; выявить общие закономерности пространственного распределения тяжелых металлов в пределах обследованной территории.

6. Проанализировать межгодовые пространственно-временные изменения в комплексном металлическом загрязнении разных районов города и сопоставить их с изменением уровня антропогенной нагрузки на окружающую среду изученных районов.

**Степень научной разработанности темы.** Оценка металлического загрязнения урбоэкосистем – хорошо развитое научное направление, связанное с изучением путей поступления, особенностей накопления и трансформации поллютантов (Ильин, 1991; Серегин, Кожевникова, 2008; Титов, 2011; Pulford et al., 2002; Tozser et al., 2017 и др.). Усилиями этих и других авторов разработаны общие требования к выбору видов-мониторов и видов-индикаторов, показана необходимость учета их фенофазы и составления химических проб из тех органов и частей растений, которые интенсивно накапливают ТМ. Использование в разных регионах для оценки металлического загрязнения окружающей среды разных представителей флоры затрудняет сравнительную оценку полученных данных и разработку единых требований к сбору проб. При разработанности общих подходов в определении уровня металлического загрязнения

территорий в каждом конкретном случае требуется адаптация и верификация используемых методов, а также корректный выбор видов местной флоры.

**Научная новизна.** Впервые получены данные по металлическому загрязнению разных районов Петропавловск-Камчатского городского округа, в котором сосредоточена основная часть населения полуострова, большинство объектов теплоэнергетического комплекса и транспортных средств. Металлическое загрязнение его окружающей среды оценено как допустимое. Показано, что накопление свинца в почвенном покрове от 8,8 до 309,8 мг/кг обусловлено исключительно антропогенным воздействием; обнаружены районы города, в которых содержание свинца превышает ПДК в 9,6 раза. Накопление меди и цинка в изученных районах достигает 88,47 и 245,6 мг/кг соответственно. Поступление меди и цинка в окружающую среду связано как с антропогенными, так и с природными факторами (повышенным природным фоном южнокамчатской геохимической провинции). Впервые в качестве видов-индикаторов использованы *Salix udensis* (ива удская) и *Artemisia vulgaris* var. *kamtschatica* (полынь пышная). Обнаружено, что эти повсеместно встречающиеся на территории города виды способны аккумулировать в большом количестве все металлы, при этом стебли и листья *A. vulgaris* накапливают их по-разному. Показано, что корреляция между валовым содержанием ТМ в почве и наземной части растений в изученных районах города отсутствует.

**Теоретическая и практическая значимость.** Разработаны рекомендации по проведению мониторинга и экспресс-оценке металлического загрязнения районов промышленного освоения и урбанизированных территорий Камчатского края, в частности предложены виды-индикаторы и определены фоновые значения содержания в них тяжелых металлов. Полученные результаты могут использоваться для характеристики фитоценозов г. Петропавловска-Камчатского и оценки эдафических условий его территорий по металлическому загрязнению. Данные изучения особенностей накопления тяжелых металлов в почвах, древесных и травянистых растениях могут дополнить учебные курсы общей экологии, агроэкологии и экологии почв.

**Методология и методы диссертационного исследования.** При выполнении исследований использовали методологические подходы, разработанные отечественными и зарубежными учеными в области экологии наземных экосистем (А. Кабата-Пендиас, А. И. Перельман, В. Б. Ильин, М. Nowrouzi), урбоэкологии (А. Ф. Титов, G. Muller, J. B. Kowalska), оценки комплексного загрязнения почв и растительного покрова ТМ (В. А. Касатиков, Ю. Е. Саег, Q. Gong). При выполнении работы, особенно при сборе проб, проведении химического анализа и интерпретации полученных данных автор использовал стандартные методики, действующие нормативные документы, руководства и рекомендации, принятые в РФ. Исходные данные о содержании ТМ в пробах почвы, древесных и травянистых растениях получены с применением современных инструментальных методов. Контроль точности определе-

ния концентраций всех металлов проводили на основе анализа государственных стандартных образцов. Для построения диаграмм и статистической обработки количественных данных использовали программы Microsoft Office Excel 2013 и GraphPad Prism 8.4.2.

**Личный вклад автора.** Автором самостоятельно выполнена постановка цели и основных задач диссертации, выбор районов исследования в пределах Петропавловск-Камчатского городского округа, сбор образцов почвенного и растительного материала в период с 2017 по 2020 гг., проведена их пробоподготовка и химический анализ. Математическая обработка, анализ и интерпретация полученных данных, подготовка публикаций по теме диссертационного исследования осуществлены соискателем лично или при его непосредственном участии.

**Основные положения, выносимые на защиту.**

1. При оценке антропогенного загрязнения ТМ урбанизированных территорий юго-восточной Камчатки необходимо учитывать региональную особенность, связанную с вулканизмом, в частности повышенное содержание в почве и растениях цинка и меди. Основной вклад в загрязнение почв города вносит свинец, растительности – цинк.

2. Из 7 видов растений, рассмотренных в настоящей работе для мониторинга металлического загрязнения, наиболее целесообразно использование в качестве видов-индикаторов для древесного яруса *S. udensis* и травянистого – *A. vulgaris* var. *kamtschatica*.

3. Растения обладают видоспецифическими физиологическими потребностями и способностями к поглощению отдельных тяжелых металлов в условиях антропогенного загрязнения и вулканической активности. В связи с этим уровень их накопления в тканях не зависит напрямую от содержания металлов в почве.

**Степень достоверности результатов.** Достоверность результатов исследования обеспечена использованием современных методов исследования и значительным фактическим материалом (около 900 аналитических определений). Результаты исследований, вошедшие в научные публикации, прошли экспертную проверку рецензентами.

**Апробация работы и публикации.** Результаты исследования представлялись и обсуждались на научных конференциях различного уровня, в том числе на международных: «Наука и инновации в XXI веке: актуальные вопросы, открытия и достижения» (Пенза, 2017), «World Science: Problems and Innovations» (Пенза, 2018), «Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей» (Петропавловск-Камчатский, 2020), «Развитие теории и практики управления социальными и экономическими системами» (Петропавловск-Камчатский, 2020) и национальных: «Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промышленное и техническое использование» (Петропавловск-Камчатский, 2020, 2021); на внутривузовском конкурсе КамчатГТУ на лучшую научную статью в 2020 г. с публикацией «Содержа-

ние свинца в почве и растительном покрове территорий г. Петропавловска-Камчатского» (Петропавловск-Камчатский, 2020; сертификат участника) и в 2021 г. с публикацией «Содержание тяжелых металлов в растениях города Петропавловска-Камчатского (Камчатский край) в 2017–2018 гг.» (Петропавловск-Камчатский, 2021; диплом III степени); на ежегодном краевом конкурсе профессионального мастерства «Эколог года – 2020» с проектом «Тяжелые металлы в древесных и травянистых растениях Петропавловска-Камчатского городского округа» (г. Петропавловск-Камчатский, 2020; диплом III степени). Материалы исследования неоднократно представлялись и обсуждались соискателем на лекционных и практических занятиях кафедры «Экология и природопользование» КамчатГТУ.

Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 8 печатных работах, из них 3 статьи – в журналах, входящих в текущий список ВАК.

**Структура и объем работы.** Диссертация изложена на 136 страницах, состоит из введения, 6 глав, заключения, выводов и списка использованных источников, включает 35 рисунков и 18 таблиц. Список литературы содержит 163 источника, из них 28 иностранных.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Глава 1** «Обзор литературы» включает четыре раздела. В **разделах 1.1–1.2** приведены сведения о видах ТМ, поступающих в окружающую среду из естественных и антропогенных источников, и их токсичности. ТМ представляют собой одну из приоритетных групп загрязнителей, являющихся факторами деградации окружающей среды. При избыточном поступлении они проявляют токсичные свойства. В настоящее время проблеме металлического загрязнения урбанизированных территорий посвящено множество разнонаправленных исследований (Бородина, 2012; Ветрова, 2015; Делигодина и др., 2017; Коновалова, 2018; Парфенова, 2020; Davydova, 2005; Gong et al., 2008; Nailu, Gebeyehu, 2020 и др.), свидетельствующих о ее высокой значимости.

В **разделе 1.3** описаны особенности накопления ТМ органами и тканями растений и физиологические механизмы их устойчивости к металлическому загрязнению. В **разделе 1.4** рассмотрены современные подходы в фитоиндикации и биомониторинге для дифференциации территорий по уровню металлического загрязнения. При использовании растений в качестве биоиндикаторов необходимо учитывать особенности местности произрастания, а также комплекс индивидуальных характеристик видов, в том числе их физиологические и морфологические адаптации (Валеева, 2004; Корельская, Попова, 2012; Сомов, 2018; Mertens et al., 2004; Franel, Babczynska, 2011).

**Глава 2** «Объекты и методы исследования» включает 4 раздела, в которых дано детальное описание районов исследования (**раздел 2.1**; рис. 1), представлена краткая характеристика выбранных для биомониторинга видов растений: ольха волосистая *Alnus hirsuta*, береза Эрмана *Betula ermanii*, ива удская *Salix udensis*, шиповник тупоушковый *Rosa amblyotis*, полынь пышная

*Artemisia vulgaris* var. *kamtschatica* и вейник Лангсдорфа *Calamagrostis canadensis* var. *langsdorffii* (раздел 2.2), описаны методики пробоподготовки и анализа образцов (раздел 2.3) и методы оценки уровня металлического загрязнения почвы и растений (раздел 2.4).



Рисунок 1 – Карта-схема мест отбора почвенных и растительных образцов.  
 А – Камчатский край; Б – городская агломерация Петропавловск-Камчатский – Елизово – Вилючинск; В – районы исследования в г. Петропавловске-Камчатском:  
 1 – фоновый участок, 2 – «Автостанция 10-й км», 3 – «Краевая библиотека»,  
 4 – «Ботанический переулок», 5 – «Стадион “Спартак”», 6 – «Госпиталь»,  
 ⊕ – дополнительные места отбора почвенных образцов

Отбор образцов проведен в летний период 2017, 2018 и 2020 гг. согласно методическим указаниям по определению ТМ в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства (1992 г.). Всего за период исследования отобрано 172 растительных и 46 почвенных проб, выполнено около 900 аналитических определений содержания меди (Cu), цинка (Zn), свинца (Pb) и кадмия (Cd).

Кислотное разложение растительного и почвенного материала выполнено в системе микроволновой подготовки проб Ethos UP (Milestone, Италия). Пробы анализировали на атомно-эмиссионном спектрометре с микроволновой плазмой AES-MP 4200 (Agilent Technologies, США) (Хеттипатирана, Мельник, 2014). Контроль точности определения концентраций ТМ проводили по анализу стандартных образцов (ЛБ-1, ЭК-1, ГСО 3484-86, Институт геохимии им. А. П. Виноградова СО РАН). Все полученные значения по содержанию отдельных металлов в пробах растений и почвенных образцах приведены в расчете на сухую массу (мг/кг).

Для оценки степени загрязнения ТМ почвы и растений применяли следующие показатели: коэффициенты концентрации  $K_c = PI$  (ГН 2.1.2042-06;



Kowalska et al., 2018) и опасности  $K_o$  (ГН 2.1.2042-06); индексы: геоаккумуляции  $I_{geo}$  (Müller, 1969; Nowrouzi, Pourhabbaz, 2014), нагрузки загрязнения  $PLI$  (Varol, 2011), потенциального экологического риска  $PERI$  (Hakanson, 1980), интегрированный индекс загрязнения Немерова  $NPI$  (Gong et al., 2008) и суммарный показатель загрязнения  $Z_c$  (Касатиков, 1989; Саэт и др., 1990; МУ 2.1.7.730-99; Байбеков и др., 2007). Для выделения видов-индикаторов использовали коэффициенты биологического поглощения КБП (Перельман, 1961; Ильин, Степанова, 1982) и биогеохимической активности вида БХА (Айвазян, 1974).

В главе 3 приведена эколого-географическая характеристика Петропавловска-Камчатского городского округа. Описаны основные особенности почвенно-растительного покрова краевого центра и условия его формирования (раздел 3.1). Приведены сведения о естественных и антропогенных источниках поступления ТМ в городскую среду, представлены современные данные о динамике выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух населенных пунктов Камчатского края от предприятий теплоэнергетики и автотранспорта (раздел 3.2).

#### Главы 4–6. (Результаты исследования и их обсуждение)

В главе 4 представлены полученные автором данные о содержании  $Cu$ ,  $Zn$  и  $Pb$  в почве г. Петропавловска-Камчатского. Раздел 4.1 включает сведения о валовом содержании указанных выше металлов в почвенных образцах (табл. 1). Концентрация меди в почвах всех исследованных территорий города превышала таковую для выбранного фонового участка. В 2017–2018 гг. ее содержание существенно не отличалось от значений геохимического фона (33,83 мг/кг), однако в 2020 г. во всех районах города наблюдалась противоположная ситуация (табл. 1). На всех участках, кроме района «Ботанический переулок», было выявлено увеличение концентрации  $Cu$  в почве в сравнении с предыдущими годами исследования. В районе «Стадион “Спартак”» ее содержание в 2020 г. увеличилось более чем в 2 раза по сравнению с 2018 г. и в 4 раза – по сравнению с 2017 г.

Содержание цинка в почве фонового участка является наименьшим в сравнении с городскими районами, исключение – район «Стадион “Спартак”». В 2017–2018 гг. содержание цинка было ниже геохимического фона (65,31 мг/кг). В 2020 г. во всех районах города наблюдалось значительное увеличение его концентрации (табл. 1). Так, в районе «Стадион “Спартак”» концентрация  $Zn$  в 2018 г. была в 8 раз выше, чем в 2017 г., в 2020 г. – в 35 раз, в других районах превышение значений предыдущего года находилось в диапазоне 1,1–3,0 раза.

Содержание свинца в почве фонового участка было ниже, чем в городе. За весь период исследования  $Pb$  присутствовал в почвах урбанизированной зоны в концентрациях, превышающих геохимический фон, – 9,82 мг/кг (табл. 1). Динамика изменения концентрации свинца в почве города за период

2017–2018 гг. была выражена незначительно, кроме района «Стадион “Спартак”», где наблюдалось резкое увеличение его концентрации (в 6,8 раза). В 2020 г. показатели содержания Pb снизились во всех районах исследования, кроме участка «Автостанция 10-й км».

Таблица 1 – Уровни содержания и ряды накопления тяжелых металлов в почвах исследованных районов г. Петропавловска-Камчатского

Металл	Год	Уровень содержания ТМ, мг/кг	Ряд уменьшения содержания ТМ в почвах исследованных районов
Cu	2017	12,7–37,6	Автостанция 10-й км ≥ Ботанический переулок > > Краевая библиотека > Госпиталь > Стадион “Спартак”
	2018	27,9–42,4	Ботанический переулок > Краевая библиотека > > Госпиталь > Автостанция 10-й км > Стадион “Спартак”
	2020	35,5–88,5	Краевая библиотека > Стадион “Спартак” > Госпиталь > Автостанция 10-й км > Ботанический переулок
Zn	2017	7,0–65,7	Краевая библиотека > Госпиталь > Ботанический переулок > Автостанция 10-й км > Стадион “Спартак”
	2018	40,2–64,5	Госпиталь > Стадион “Спартак” > Краевая библиотека > Ботанический переулок > Автостанция 10-й км
	2020	71,5–245,6	Стадион “Спартак” > Ботанический переулок > > Автостанция 10-й км > Краевая библиотека > > Госпиталь
Pb	2017	8,8–68,7	Госпиталь > Автостанция 10-й км > Краевая библиотека > Ботанический переулок > Стадион “Спартак”
	2018	40,4–309,8	Ботанический переулок > Госпиталь > Стадион “Спартак” > Краевая библиотека > Автостанция 10-й км
	2020	12,2–53,4	Стадион “Спартак” > Автостанция 10-й км > > Ботанический переулок > Краевая библиотека > > Госпиталь

Концентрация *кадмия* была выявлена в значениях ниже предела количественного определения методом АЭС-МП (менее 0,01 мг/кг). По этой причине при оценке металлического загрязнения почв г. Петропавловска-Камчатского его значения не учитывались.

В разделе 4.2 обсуждается суммарное содержание ТМ в почвах районов исследования. Установлено, что наибольший вклад в металлическое загрязнение почв города вносит свинец. Аккумуляция ТМ здесь уменьшается в следующей последовательности: Pb > Zn > Cu. Важно отметить, что для ненарушенных почв юго-восточной Камчатки убывающий ряд концентраций этих металлов имеет другую последовательность: Cu > Zn > Pb (Захарихина, Литвиненко, 2019а). Также нами выявлено стабильно низкое суммарное

содержание ТМ в почвенных образцах фонового участка, его значение за период исследований не превышало 60 мг/кг (рис. 2).

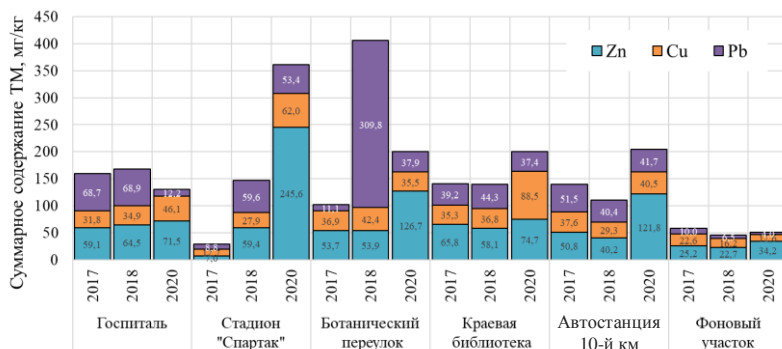


Рисунок 2 – Суммарное содержание тяжелых металлов в почвах исследованных районов г. Петропавловска-Камчатского и фонового участка в 2017, 2018 и 2020 гг.

В главе 5 представлены сведения о содержании Cu, Zn, Pb и Cd в исследованных травянистых и древесных растениях ПКГО. В разделе 5.1 продемонстрировано, что наибольшее содержание меди в 2017–2018 гг. было выявлено в растениях фонового участка, в 2020 г. – в растениях района «Краевая библиотека». Установлено, что ее накопление в листьях *Artemisia vulgaris* было выше, чем у других исследованных видов (табл. 2), и в большинстве случаев соответствовало токсичной концентрации (> 20 мг/кг). Медь в растениях содержалась в меньших концентрациях, чем в почве тех же участков, что, вероятно, связано с медной специализацией последней, а также с физиологическими особенностями видов.

Наибольшее содержание цинка в листьях исследованных видов в 2017–2020 гг. определено в районе «Автостанция 10-й км». Наиболее высокие его показатели в городской среде имела ива. В ее листьях концентрация металла соответствовала токсичной (150 мг/кг) и была выше, чем в почвах аналогичных участков (см. табл. 1 и 2).

Показатели содержания свинца в растениях всех участков отличались незначительно и соответствовали оптимальному для растений уровню (< 10 мг/кг). В 2017–2020 гг. его наибольшая концентрация была у растений в районе «Автостанция 10-й км». В некоторых случаях вейник накапливал этот металл в более высоких концентрациях, чем другие виды. Однако в отношении других ТМ аналогичная ситуация не наблюдалась. Установлено, что содержание свинца в пробах почв районов исследования было выше, чем у произрастающих там травянистых и древесных растений (табл. 1 и 2).

В листьях ивы выявлено наибольшее содержание кадмия в 2017 г. в районе «Госпиталь», в 2018 г. – на участке «Ботанический переулок»,

в 2020 г. – «Краевая библиотека». У большинства растительных образцов его концентрация достигала токсичного уровня ( $> 0,1$  мг/кг), несмотря на его незначительное содержание в почве. Это, вероятно, связано с преобладанием аэрального пути поступления Cd в растительный покров и активным его накоплением отдельными проанализированными видами (табл. 2).

Таблица 2 – Уровни содержания тяжелых металлов в листьях растений исследованных районов г. Петропавловска-Камчатского

Вид	Год	Cu, мг/кг	Zn, мг/кг	Pb, мг/кг	Cd, мг/кг
<i>Artemisia vulgaris</i> (полынь) <sup>1</sup>	2017	18,4–22,0	38,5–114,2	2,3–3,0	0,3–1,7
	2018	15,5–36,6	54,5–111,2	2,4–3,7	0,5–2,1
	2020	16,6–27,8	112,7–175,8	0,8–1,6	0,2–0,9
<i>Rosa amblyotis</i> (шиповник) <sup>1</sup>	2017	7,6–10,4	24,4–30,0	1,8–2,7	0,2–1,6
	2018	7,7–10,0	24,5–31,5	1,2–2,9	0,6–1,4
<i>Salix idensis</i> (ива) <sup>2</sup>	2017	8,7–13,6	53,7–281,3	0,01–2,9	0,3–2,7
	2018	8,5–10,0	118,7–246,1	0,01–3,8	0,99–3,6
	2020	8,3–12,5	229,5–416,7	0,7–1,0	0,5–1,0
<i>Alnus hirsuta</i> (ольха) <sup>2</sup>	2017	14,1	133,1	0,3	1,2
	2018	10,3–12,1	90,3–116,6	0,01–1,3	0,5–2,0
<i>Betula ermanii</i> (береза) <sup>2</sup>	2017	11,4	132,6	2,8	0,7
	2018	9,3–13,6	48,3–203,6	0,01–3,4	0,06–3,2
	2020	7,9–9,2	96,2–259,0	0,3–1,0	0,05–0,8
<i>Calamagrostis canadensis</i> (вейник) <sup>1</sup>	2020	3,1–6,1	29,3–64,1	0,8–1,7	0,03–0,3

Примечание. 1 – представители травянисто-кустарникового яруса, 2 – представители древесного яруса.

В разделе 5.2 обсуждаются суммарные показатели содержания ТМ в растениях фонового участка и районов ПКГО (рис. 3). У представителей травянисто-кустарникового яруса общее содержание металлов (Zn, Cu, Pb и Cd) ниже, чем у древесного. Наибольшее значение суммарного содержания ТМ было выявлено в образцах ивы как в фоновой (155 мг/кг), так и в городской зонах (189,6 мг/кг). Аккумуляция металлов растениями г. Петропавловска-

Камчатского уменьшается в следующей последовательности:  $Zn > Cu > Pb \geq Cd$ , т. е. все виды в большей степени аккумулируют цинк, в меньшей – свинец и кадмий (рис. 3).

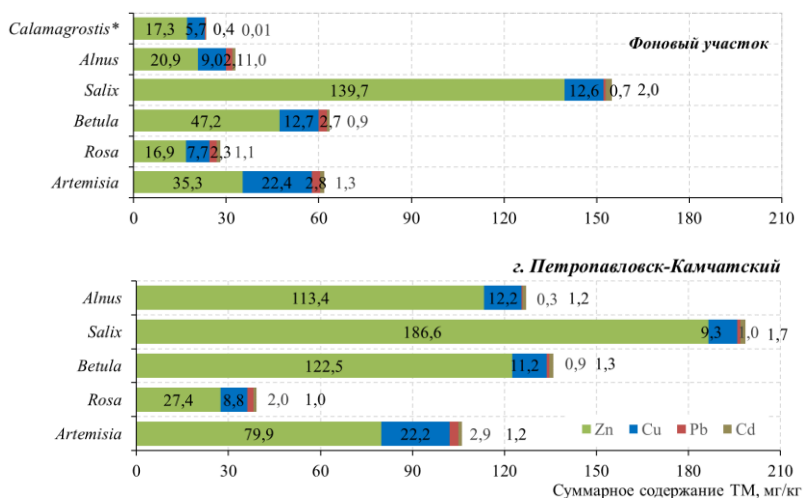


Рисунок 3 – Суммарное содержание тяжелых металлов в растениях г. Петропавловска-Камчатского и фонового участка в 2017–2018 гг.

\* – усредненное содержание элементов в вейнике Лангсдорфа для юго-восточной Камчатки (Захарихина, Литвиненко, 2019б)

В разделе 5.3 дана сравнительная оценка накопления металлов представителями разных видов растений в 2017 и 2018 гг. и обосновывается выделение видов-индикаторов. Наибольший КБП в отношении всех исследуемых металлов характерен для ивы (6,3), наименьший – для шиповника и ольхи (0,1). Ряд уменьшения БХА имеет следующий вид: *Salix udensis* > *Betula ermanii* > *Artemisia vulgaris* > *Alnus hirsuta* > *Rosa amblyotis* (табл. 3). Основываясь на полученных нами данных, представители *Salix* и *Artemisia* могут быть использованы как биоиндикаторы загрязнения окружающей среды цинком. Cu и Pb в наиболее высоких концентрациях определены в *A. vulgaris*, *S. udensis* и *B. ermanii* (табл. 4).

Поскольку расчет КБП и БХА для исследованных видов не мог быть выполнен в отношении кадмия, то выделение индикаторов этого металла было основано на полученных нами значениях его валового содержания в растительных образцах.

В главе 6 обсуждаются результаты сравнительной оценки загрязнения почвенно-растительного покрова разных районов Петропавловск-Камчатского городского округа и города в целом в 2017, 2018 и 2020 гг., также дается их сравнение с имеющимися нормативными показателями. В разделе 6.1 показан современный уровень металлического загрязнения почв ПКГО.

В 2017–2018 гг. содержание Cu и Zn в почвах города было ниже установленных в России значений ПДК/ОДК. В 2020 г. выявлено превышение допустимых концентраций по меди в районе «Краевая библиотека» и по цинку в районах «Стадион “Спартак”», «Ботанический переулок» и «Автостанция 10-й км». За весь период наблюдения содержание Pb было выше показателя ПДК во всех исследованных почвах города, кроме районов «Стадион “Спартак”» (2017 г.), «Ботанический переулок» (2017 г.), «Госпиталь» (2020 г.). За период 2017–2020 гг. в почве фоновом участка превышение ПДК ТМ не обнаружено.

Таблица 3 – Средние показатели биогеохимической активности (БХА) и коэффициента биологического поглощения (КБП) металлов у исследованных видов растений

Вид	БХА	КБП		
		Zn	Cu	Pb
<i>Artemisia vulgaris</i>	2,8	1,9	0,8	0,2
<i>Rosa amblyotis</i>	1,4	0,9	0,3	0,1
<i>Salix udensis</i>	13,7	6,3	0,6	0,2
<i>Alnus hirsuta</i>	2	1,5	0,4	0,1
<i>Betula ermanii</i>	2,9	1,8	0,5	0,2

Таблица 4 – Виды-индикаторы тяжелых металлов в г. Петропавловске-Камчатском

Металл	Вид-индикатор	
	Древесный ярус	Травянисто-кустарниковый ярус
Zn	<i>Salix udensis</i>	<i>Artemisia vulgaris</i>
Cu	<i>Betula ermanii</i> / <i>Salix udensis</i>	<i>Artemisia vulgaris</i>
Pb	<i>Betula ermanii</i> / <i>Salix udensis</i>	<i>Artemisia vulgaris</i>
Cd	<i>Salix udensis</i>	<i>Artemisia vulgaris</i>

Анализ значений  $I_{geo}$  выявил в целом слабую и умеренную степень загрязнения поверхностного слоя городских почв медью и цинком в 2017–2020 гг., а также умеренную (2017 г.) и достаточную сильную (2018 и 2020 гг.) степень загрязнения свинцом. Полученные значения  $PI (=K_c)$  для почв г. Петропавловска-Камчатского во многом повторяли выявленные для  $I_{geo}$  закономерности. Практически во всех урбанизированных территориях  $PI$ , рассчитанный на основе содержания свинца в почвах, соответствовал очень сильной степени загрязнения (рис. 4).

На основе полученных значений суммарного показателя загрязнения ( $Z_c$ ) установлено, что в почвах всех исследованных районов за период 2017–2018 гг. был выявлен допустимый уровень загрязнения ТМ (рис. 5, Г). Единственное исключение отмечено в 2018 г. для участка «Ботанический переулок» с опасной категорией загрязнения. В 2020 г. к категории умеренно опасного загрязнения относились районы «Стадион “Спартак”» и «Краевая библиотека».

При дополнительном расчете показателя  $Z_c$  для урбанизированных территорий с учетом кларков выявлены аналогичные значения  $Z_c$ , полученные относительно фонового участка.

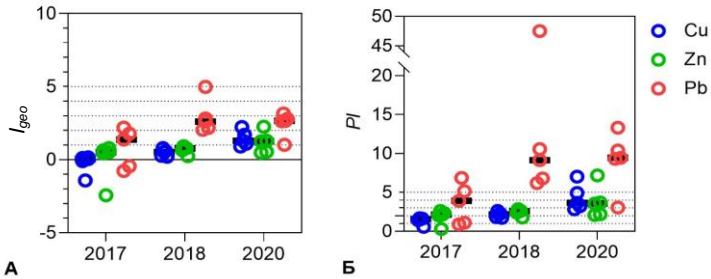


Рисунок 4 – Индивидуальные показатели загрязнения почв г. Петропавловска-Камчатского отдельно медью, цинком и свинцом:

$I_{geo}$  – индекс геоаккумуляции (А),  $PI$  – индекс загрязнения (Б).

Градация загрязнения металлами: слабая степень ( $0 < I_{geo} < 1$  и  $1 < PI < 2$ ),  
 средняя / умеренная степень ( $1 < I_{geo} < 2$  и  $2 < PI < 3$ ),  
 сильная степень ( $2 < I_{geo} < 4$  и  $3 < PI < 5$ ), очень сильная степень ( $4 < I_{geo} < 5$  и  $PI > 5$ )  
 и чрезвычайно сильная степень ( $5 < I_{geo} < 6$ )

Для более полной оценки был произведен расчет индексов  $NPI$ ,  $PERI$  и  $PLI$  (рис. 5). Районы исследования по уменьшению значений выше указанных индексов в 2017 г. имели следующий вид: «Госпиталь» > «Автостанция 10-й км» > «Краевая библиотека» > «Ботанический переулок» > «Стадион «Спартак»». Аналогичный ряд в 2018 г. представлен иной последовательностью: «Ботанический переулок» > «Госпиталь» > «Стадион «Спартак»» > > «Краевая библиотека» > «Автостанция 10-й км».

Ряды уменьшения участков по величине  $PERI$ ,  $PLI$  в 2020 г.: «Стадион «Спартак»» > «Краевая библиотека» > «Автостанция 10-й км» > «Ботанический переулок» > «Госпиталь». В 2020 г. ряд уменьшения значений  $NPI$  в исследованных районах имел следующий вид: «Стадион «Спартак»» > «Автостанция 10-й км» > «Краевая библиотека» > «Ботанический переулок» > > «Госпиталь» (рис. 5).

Почвы всех районов, кроме участка «Стадион «Спартак»» в 2017 г., по индексу  $PLI$  относятся к загрязненным. Согласно показателю  $NPI$ , они в большинстве случаев соответствуют сильнозагрязненным, исключением является 2017 г. для районов «Стадион «Спартак»» (незагрязненные), «Ботанический переулок» (слабозагрязненные) и «Краевая библиотека» (умеренное загрязнение). Расчет индекса  $PERI$  показал, что в целом для почв всех районов характерна слабая степень потенциального экологического риска в результате загрязнения ТМ, кроме участков «Ботанический переулок» (2018 г.) и «Стадион «Спартак»» (2020 г.) с сильной и умеренной степенью соответственно (рис. 5).

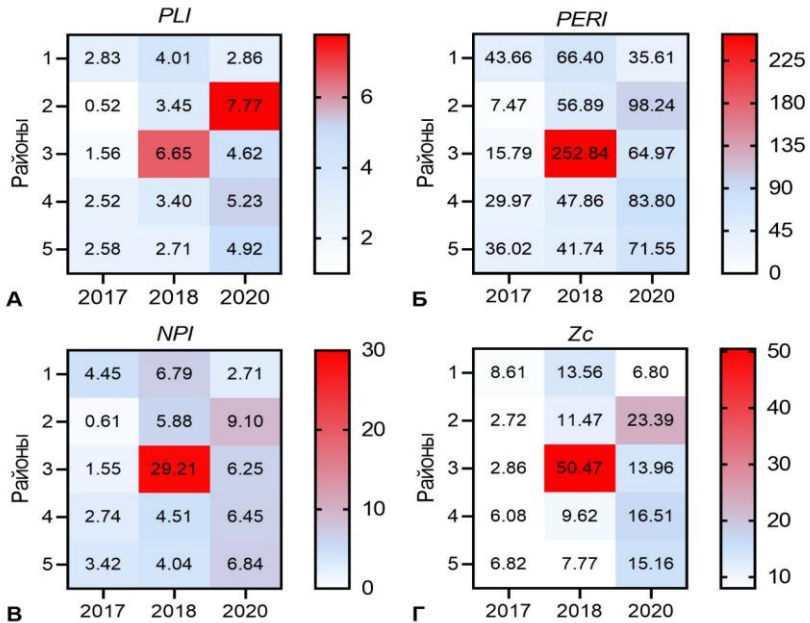


Рисунок 5 – Показатели комплексного загрязнения тяжелыми металлами почв исследованных районов Петропавловск-Камчатского городского округа (*PLI*, *PERI*, *NPI*, *Zc*): 1 – «Госпиталь», 2 – «Стадион “Спартак”», 3 – «Ботанический переулок», 4 – «Краевая библиотека», 5 – «Автостанция 10-й км»

В разделе 6.2 обсуждается уровень металлического загрязнения древесных и травянистых растений г. Петропавловска-Камчатского. Для дифференциации городской среды по степени металлического загрязнения нами были рассчитаны значения  $Z_c$  для выделенных видов-индикаторов (*A. vulgaris* var. *kamtschatica* и *S. udensis*).

В 2017 г. суммарное загрязнение ТМ растений травянисто-кустарникового яруса для районов «Автостанция 10-й км» и «Ботанический переулок» соответствовало средней степени, для остальных районов оно характеризовалось как слабое (рис. 6). Ряд уменьшения содержания металлов в пробах пыльцы на участках исследования в 2017 г. имеет следующий вид: «Автостанция 10-й км» > > «Ботанический переулок» > «Госпиталь» > «Краевая библиотека» > «Стадион “Спартак”». В 2018 г. средняя степень металлического загрязнения растений *A. vulgaris* var. *kamtschatica* выявлена только для территории «Госпиталь», в остальных районах оно соответствовало слабому уровню. Ряд уменьшения содержания ТМ в ее пробах в 2018 г. представлен последовательностью: «Госпиталь» > «Автостанция 10-й км» > «Стадион “Спартак”» > «Краевая библиотека» > «Ботанический переулок» (рис. 6).



В 2020 г. незначительная степень загрязнения растений травянистого яруса была выявлена в районах «Стадион Спартак», «Ботанический переулок», слабая степень была характерна для всех других районов исследования. В 2020 г. ряд уменьшения был иным: «Краевая библиотека» > «Автостанция 10-й км» > «Госпиталь» > «Стадион “Спартак”» > «Ботанический переулок» (рис. 6).

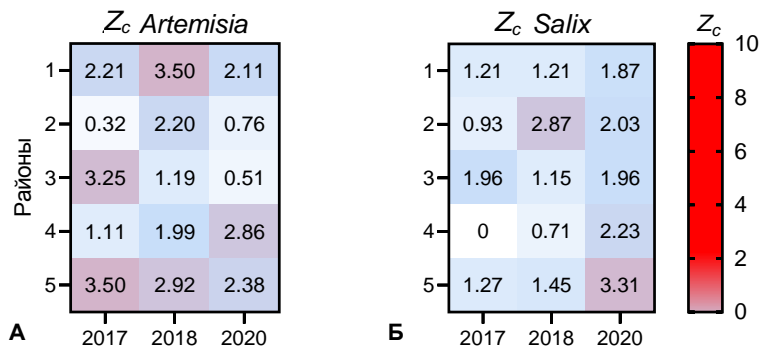


Рисунок 6 – Оценка суммарного загрязнения ( $Z_c$ ) растительного покрова исследованных районов Петропавловск-Камчатского городского округа в 2017, 2018 и 2020 гг. с использованием видов-индикаторов – *Artemisia* (А) и *Salix* (Б).

Обозначение районов приведено в подрисуночной подписи к рисунку 5

Суммарное загрязнение ТМ растений древесного яруса за весь период исследования можно оценить как слабое. В 2017 г. ряд уменьшения содержания ТМ в образцах ивы из разных районов города имел следующий вид: «Ботанический переулок» > «Автостанция 10-й км» > «Госпиталь» > «Стадион “Спартак”». Аналогичный ряд в 2018 г. представлен таким образом: «Стадион “Спартак”» > «Автостанция 10-й км» > «Госпиталь» > «Ботанический переулок» > «Краевая библиотека». В 2020 г. ряд уменьшения имел вид: «Автостанция 10-й км» > «Краевая библиотека» > «Стадион “Спартак”» > «Ботанический переулок» > «Госпиталь» (рис. 6). Выявленная с помощью предложенных видов-индикаторов высокая вариабельность антропогенной нагрузки на исследованные районы ПКГО позволяет утверждать, что использованные нами методы надежно отражают пространственно-временные изменения загрязнения среды ТМ.

**В разделе 6.3** обсуждается межгодовая динамика загрязнения почв и растений в городской среде и обуславливающие ее причины.

Уровни накопления и средние значения Cu, Zn и Pb в поверхностном слое почв ПКГО за весь период исследования всегда превышали таковые для фонового участка. За четырехлетний период суммарное содержание ТМ в ненарушенных почвах изменялось в диапазоне 45,4–59,2 мг/кг, в городских почвах стабильно превышало 100 мг/кг и в отдельных случаях достигало 406,1 мг/кг.

Сравнивая динамику изменений накопления ТМ в почвах исследованных территорий за период 2017–2020 гг., следует отметить, что для фонового участка к концу наблюдений выявлено стабильное содержание ТМ. Для урбанизированных районов к концу исследований, напротив, характерно увеличение содержания Cu и Zn в 2,3 раза (рис. 7). Учитывая фоновые значения ТМ, в 2020 г. районом города с максимальным депонированием Cu в почвенных образцах была «Краевая библиотека», с максимальными значениями Zn и Pb – «Стадион “Спартак”».

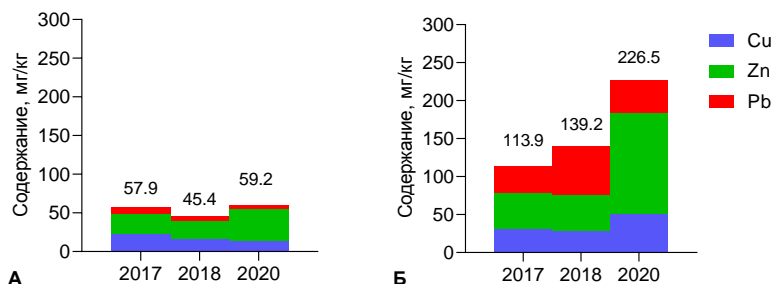


Рисунок 7 – Суммарное содержание меди, цинка и свинца (мг/кг) в почвах фонового участка (А) и городской среды (Б) исследуемых территорий

Для анализа динамики накопления ТМ у растений ПКГО в 2017–2020 гг. были использованы виды-индикаторы. Содержание у них Cu за весь период исследования варьировало слабо и не превышало 25,2 мг/кг у первого вида и 14,1 мг/кг у второго вида. В растениях фонового участка ее уровень был несколько выше, чем в городской среде.

В отношении содержания Zn в растительном покрове выявлена тенденция его возрастания к 2020 г. как у представителей травянистого, так и древесного ярусов. С 2017 г. уровень его накопления у растений возрос практически в два или более раз. Кроме того, концентрация цинка у растений урбанизированной территории во всех случаях была выше, чем на фоновом участке (рис. 8).

В исследованных районах накопление Pb и Cd растениями имело схожую тенденцию: незначительное увеличение к 2018 г. и резкое снижение к 2020 г. Так, содержание свинца у *A. vulgaris* var. *kamtschatica* в урбанизированной среде снизилось в 2,3 раза (с 2,6 до 1,1 мг/кг), у *S. udensis* – в 1,2 (с 1,5 до 0,8 мг/кг). Аналогичная ситуация выявлена с кадмием. За четыре года его накопление у полыни и ивы уменьшилось в 1,7 раза: с 1,2 до 0,7 мг/кг и с 1,4 до 0,8 мг/кг соответственно (рис. 8).

Полученные результаты выполненных исследований позволили выявить, что распределение Zn, Cu, Pb, Cd в травянистых и древесных растениях Петропавловск-Камчатского городского округа зависит от экологических факторов районов их произрастания. Установлено, что привнесение свинца

и кадмия в городскую среду определяется в большей мере техногенными источниками. Динамика изменения концентрации ТМ в растительном покрове города связана, как это показано в диссертации, с усилением антропогенной нагрузки в 2018 г. и как следствие – с увеличением их концентрации в растениях. Однако в 2020 г. уровень суммарного металлического загрязнения растений г. Петропавловска-Камчатского существенно снизился, и в целом он характеризовался как слабый. Следует отметить, что аналогичный характер изменения металлического загрязнения был выявлен и для городских почв. Вероятно, это связано с сокращением передвижений автотранспорта из-за ограничений, принятых для предотвращения распространения коронавирусной инфекции (рис. 9).

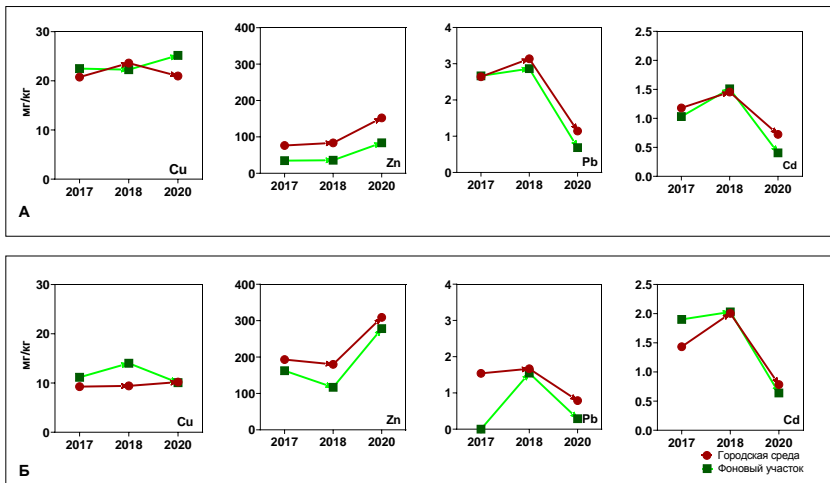


Рисунок 8 – Усредненное содержание меди (Cu), цинка (Zn), свинца (Pb) и кадмия (Cd) в листьях *Artemisia* (A) и *Salix* (B), произрастающих на территории г. Петропавловска-Камчатского и фонового участка за период 2017–2020 гг.

Межгодовая динамика полиэлементного загрязнения исследованных почв г. Петропавловска-Камчатского на основе индексов комплексного загрязнения имеет выраженный тренд к снижению воздействия ТМ на исследованные урболандшафты к 2020 г. В предшествующий двухлетний период нами отмечено увеличение значений всех показателей загрязнения почв (*NPI*, *PERI*, *PLI* и *Zc*). Все эти изменения обусловлены главным образом техногенным поступлением Pb в городскую среду (рис. 9).

Снижение уровня загрязнения почв в 2020 г. сопровождалось увеличением содержания эссенциальных элементов в растительных образцах. Это, вероятно, связано с их беспрепятственным поступлением в результате уменьшения концентрации других загрязнителей и наличием у разных видов

адаптивных механизмов поглощения отдельных ТМ в условиях антропогенного загрязнения и вулканической активности. Полученные результаты могут быть использованы в качестве исходных данных для оценки и биомониторинга экологического состояния урбанизированных территорий Камчатского края и прилегающих районов.

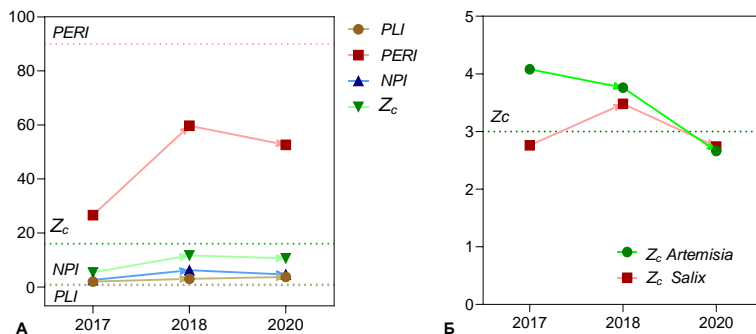


Рисунок 9 – Межгодовая динамика комплексного загрязнения почв (А) и растений (Б) г. Петропавловска-Камчатского на основе индексов *PLI*, *PERI*, *NPI* и *Z<sub>c</sub>*. Пунктирными линиями отмечены уровни слабого загрязнения для каждого индекса

## ВЫВОДЫ

1. На основе анализа уровня антропогенной трансформации почв, распределения в черте города представителей разных видов растений, размещения источников металлического загрязнения было выделено 6 районов исследования. Обоснована достаточность этого количества для полноценной оценки уровня загрязнения тяжелыми металлами г. Петропавловска-Камчатского.

2. За период исследования содержание меди в почвенных образцах в разных районах города варьировало от 12,7 до 88,5 мг/кг, цинка – 7,03–245,6 мг/кг, свинца – 8,8–309,8 мг/кг. Кадмий в почве встречался в следовых количествах. Аккумуляция металлов почвой г. Петропавловска-Камчатского уменьшается в следующей последовательности: Pb > Zn > Cu. Содержание ТМ в древесных и травянистых растениях составляет соответственно 7,9–14,1 и 3,1–36,6 мг/кг для меди, 48,3–416,7 и 29,3–175,8 мг/кг для цинка, 0,01–3,8 и 0,8–3,7 мг/кг для свинца и 0,05–3,6 и 0,03–2,1 мг/кг для кадмия. У представителей травянистого яруса содержание Zn, Cu, Pb и Cd ниже, чем у древесных видов. Накопление металлов растительным покровом г. Петропавловска-Камчатского уменьшается в следующей последовательности: Zn > Cu > Pb ≥ Cd.

3. Основываясь на особенностях поглощения и накопления ТМ древесными и травянистыми растениями, градиент уменьшения биогеохимической активности изученных видов имеет следующую последовательность:

*Salix udensis* > *Artemisia vulgaris* var. *kamtschatica* > *Alnus hirsuta* > *Betula ermanii* > > *Rosa amblyotis* > *Calamagrostis canadensis* var. *langsдорffii*. При этом медь и свинец в наиболее высоких концентрациях накапливают *B. ermanii*, *S. udensis* и *A. vulgaris*, кадмий и цинк – *S. udensis* и *A. vulgaris*.

4. В городской среде у полыни выявлены статистически значимые различия в накоплении эссенциальных элементов (Zn, Cu) разными вегетативными органами: листьями и стеблями. При этом столь же значительной разницы в накоплении в них токсичных элементов не выявлено. Исходя из этого, для оценки загрязнения полыни цинком и медью следует использовать листовые пластины, а для оценки загрязнения свинцом и кадмием – всю надземную часть растений.

5. Химический анализ собранных почвенных проб показал, что согласно санитарно-гигиеническим нормативам превышение допустимых концентраций практически повсеместно наблюдалось по свинцу. Для большинства районов загрязнение этим элементом относится к опасному и чрезвычайно опасному. Превышение допустимых концентраций для меди и цинка наблюдалось в единичных случаях: в трех пробах для цинка и в одной для меди.

6. Уровни накопления и средние значения Cu, Zn и Pb в поверхностном слое почв г. Петропавловска-Камчатского всегда превышали таковые для фонового участка. Для фоновых территорий индивидуальная и суммарная межгодовая изменчивость содержания ТМ в почвах изменялась слабо. За весь период исследования суммарное содержание ТМ в ненарушенных почвах варьировало в диапазоне 45,43–57,87 мг/кг, в городских почвах стабильно превышало 100 мг/кг и в отдельных случаях достигало 406,04 мг/кг. В исследованных районах накопление Cu, Zn, Pb и Cd растениями имело схожую тенденцию: незначительное увеличение к 2018 г. и резкое снижение к 2020 г. Так, содержание свинца у *A. vulgaris* var. *kamtschatica* в урбанизированной среде снизилось с 2,6 до 1,1 мг/кг, у *S. udensis* – с 1,5 до 0,8 мг/кг. Аналогичная ситуация выявлена с кадмием. За весь период исследования его накопление у полыни и ивы уменьшилось с 1,2 до 0,7 мг/кг и с 1,4 до 0,8 мг/кг соответственно.

7. Комплексные индексы загрязнения почв в г. Петропавловске-Камчатском свидетельствуют о высокой изменчивости проанализированных показателей во времени и пространстве, но в целом они соответствовали допустимому уровню. В 2020 г. умеренно опасное загрязнение было обнаружено в районах «Краевая библиотека» и «Стадион «Спартак»», в 2018 г. опасная степень загрязнения была выявлена для района «Ботанический переулок». Анализ содержания ТМ у растений свидетельствует о слабой степени загрязнения представителей древесного и травянистого ярусов. При этом за весь период исследования максимальное загрязнение наблюдалось в районе «Автостанция 10-км».

8. Общей тенденцией временных изменений металлического загрязнения почвенно-растительного покрова ПКГО является его увеличение к 2018 г. и уменьшение к 2020 г. Мы связываем это с проведением в ряде районов

(«Стадион “Спартак”», «Краевая библиотека») интенсивных строительных работ. Уменьшение уровня загрязнения в 2020 г. объясняется главным образом ухудшением эпидемиологической обстановки, ограничением использования жителями города личного и общественного автотранспорта, являющегося одним из основных источников поступления ТМ.

**Статьи в журналах, включенных  
в Перечень рецензируемых научных изданий,  
в которых должны быть опубликованы основные научные результаты  
диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук:**

1. **Авдощенко, В. Г.** Оценка загрязнения растительного покрова города Петропавловска-Камчатского (Камчатский край) тяжелыми металлами в 2017–2020 гг. / **В. Г. Авдощенко**, А. В. Климова // Вестник Камчатского государственного технического университета. – 2021. – № 55. – С. 89–101.

2. **Авдощенко, В. Г.** Содержание тяжелых металлов в растениях города Петропавловска-Камчатского (Камчатский край) в 2017–2018 гг. / **В. Г. Авдощенко**, А. В. Климова // Вестник Камчатского государственного технического университета. – 2020. – № 54. – С. 48–64.

3. **Авдощенко, В. Г.** Содержание тяжелых металлов в почвах Петропавловска-Камчатского (Камчатский край) в 2017–2018 гг. / **В. Г. Авдощенко**, А. В. Климова // Вестник Камчатского государственного технического университета. – 2020. – № 52. – С. 50–63.

**Публикации в других научных изданиях:**

4. **Авдощенко, В. Г.** Накопление тяжелых металлов вегетативными органами полыни *Artemisia vulgaris kamtschatica* в условиях городской среды Петропавловска-Камчатского / **В. Г. Авдощенко**, А. В. Климова // Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей : материалы XXI Международной научной конференции. Петропавловск-Камчатский, 18–19 ноября 2020 г. – Петропавловск-Камчатский : Камчатпресс, 2020. – С. 157–160.

5. **Авдощенко, В. Г.** Содержание цинка в почве и растительном покрове территорий г. Петропавловска-Камчатского / **В. Г. Авдощенко**, А. В. Климова // Развитие теории и практики управления социальными и экономическими системами : материалы Девятой международной научно-практической конференции. Петропавловск-Камчатский, 13–14 мая 2020 г. – Петропавловск-Камчатский : КамчатГТУ, 2020. – С. 91–95.

6. **Авдощенко, В. Г.** Содержание свинца в почве и растительном покрове территорий г. Петропавловска-Камчатского / **В. Г. Авдощенко**, А. В. Климова // Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промышленное и техническое использование : материалы XI Национальной (всероссийской) научно-практической конференции. Петропавловск-Камчатский, 24–25 марта 2020 г. – Петропавловск-Камчатский : КамчатГТУ, 2020. – С. 109–114.

7. *Авдощенко, В. Г.* К вопросу о накоплении тяжёлых металлов растениями в условиях городской среды / **В. Г. Авдощенко** // World science: problems and innovations : сборник статей XX Международной научно-практической конференции. В 2 ч. Ч. 1. – Пенза : МЦНС «Наука и Просвещение», 2018. – С. 291–293.

8. *Авдощенко, В. Г.* К вопросу об источниках поступления тяжёлых металлов в почву города Петропавловск-Камчатский / **В. Г. Авдощенко** // Наука и инновации в XXI веке: актуальные вопросы, открытия и достижения : сборник статей VII Международной научно-практической конференции. Ч. 1. – Пенза : МЦНС «Наука и Просвещение», 2017. – С. 241–243.

**Авдощенко Виктория Геннадьевна**

**ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ В ПОЧВАХ,  
ДРЕВЕСНЫХ И ТРАВЯНИСТЫХ РАСТЕНИЯХ  
ПЕТРОПАВЛОВСК-КАМЧАТСКОГО ГОРОДСКОГО ОКРУГА**

*Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата биологических наук*

В авторской редакции  
Набор текста В. Г. Авдощенко  
Верстка, оригинал-макет Е. Е. Бабух

Подписано в печать 21.10.2021  
Формат 60\*84/16. Печать цифровая. Гарнитура Times New Roman  
Авт. л. 1,22. Уч.-изд. л. 1,28. Усл. печ. л. 1,0.  
Тираж 100 экз. Заказ № 12

Издательство Камчатского государственного технического университета

Отпечатано участком оперативной полиграфии издательства КамчатГТУ  
683003, г. Петропавловск-Камчатский, ул. Ключевская, 35