

### Секция 3. СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ РЕГИОНАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ

УДК 332.368:669.4(571.66-25)

**В.Г. Авдощенко, А.В. Климова**

*Камчатский государственный технический университет,  
Петропавловск-Камчатский, 683003  
e-mail: avdoshchenkovg@mail.ru*

#### СОДЕРЖАНИЕ ЦИНКА В ПОЧВЕ И РАСТИТЕЛЬНОМ ПОКРОВЕ ТЕРРИТОРИЙ Г. ПЕТРОПАВЛОВСКА-КАМЧАТСКОГО

В работе представлены результаты определения накопления цинка в почвенно-растительном покрове территорий г. Петропавловска-Камчатского в летний период 2018 г. Содержание этого металла в почвах всех исследованных районов, кроме фонового (22,69 мг/кг), превышало допустимый уровень и изменялось в пределах 40,21–64,55 мг/кг. Концентрация цинка в почвах территорий города уменьшалась в следующей последовательности: Госпиталь > Стадион «Спартак» > Краевая библиотека > Ботанический переулок > Автостанция 10-й км > Фоновый участок. Сравнительный анализ содержания цинка в пробах собранных растений выявил, что выраженная способность его к биоаккумуляции характерна для ивы. Наибольшее его содержание во всех растительных пробах отмечено в районе Автостанция 10-й км.

**Ключевые слова:** тяжелые металлы, цинк, металлическое загрязнение, биоаккумуляция, фитоиндикация, урбанизированные территории, Петропавловск-Камчатский.

**V.G. Avdoshchenko, A.V. Klimova**

*Kamchatka State Technical University,  
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003  
e-mail: avdoshchenkovg@mail.ru*

#### ZINC CONTENT IN SOIL AND VEGETATION OF PETROPAVLOVSK-KAMCHATSKY TERRITORIES

The results of determining the accumulation of zinc in the soil and vegetation cover of Petropavlovsk-Kamchatsky territories in summer 2018 were presented. The content of this metal in the soils of all studied areas, except the background (22,69 mg/kg), exceeded the permissible level and varied in the range of 40,21–64,55 mg/kg. A series of decreasing zinc concentrations in the soils of the studied areas can be represented in the following sequence: Hospital > "Spartak" Stadium > Regional library > Botanical lane > Bus station at the 10<sup>th</sup> km > Background Area. Analysis of zinc concentration in plant samples showed that the highest ability to bioaccumulation of zinc is typical for willow. The highest zinc content in plant samples was found in the area of the Bus station at the 10<sup>th</sup> km.

**Key words:** heavy metals, zinc, metal pollution, bioaccumulation, plant indication, urban territories, Petropavlovsk-Kamchatsky.

Для городской среды характерно загрязнение различной степени и природы. Разные участки города обычно отличаются по показателям качества среды в зависимости от расположения источников антропогенного загрязнения, которые в основном представлены автотранспортом, промышленными предприятиями и объектами теплоэнергетики. Загрязнения от этих источников многокомпонентны, но практически всегда включают тяжелые металлы, отличающиеся высокой токсичностью для всех живых организмов.

Ежедневно попадая в окружающую среду, тяжелые металлы аккумулируются в почвах и донных отложениях, поглощаются растениями, затем по трофическим цепям поступают в организм человека и животных, что представляет угрозу для их жизнедеятельности [1]. Растения могут являться биоиндикаторами металлического загрязнения территории, каждый вид имеет свои особенности накопления и поглощения тяжелых металлов. Анализ их содержания в системе «почва – растение» – важный компонент при комплексной оценке загрязненности урбоэкосистем [2].

Особое место среди всего спектра тяжелых металлов занимает цинк, т. к. в отличие от, например, ртути и свинца, не является токсичным. Он относится к микроэлементам, выполняющим значимую роль в жизненных процессах растений, животных и человека. Однако повышенное содержание цинка в окружающей среде может оказывать существенное негативное влияние на живые организмы. Токсический эффект высоких концентраций цинка возрастает по мере снижения pH почвы [3, 4].

Петропавловск-Камчатский – наиболее крупный город Камчатского края, его территория включает более 60% промышленных предприятий региона. Основным источником поступления тяжелых металлов в компоненты экосистемы города – выбросы предприятий теплоэнергетики и автотранспорта. Для автопарка г. Петропавловска-Камчатского характерны длительный срок эксплуатации и низкие технические показатели. Загрязнение и подкисление почв также связано с трансграничным переносом тяжелых металлов, захлалением земель производственными и бытовыми отходами. Кроме того, источником поступления тяжелых металлов здесь является вулканическая деятельность [4, 5].

Цель настоящей работы – оценка экологического состояния разных районов г. Петропавловска-Камчатского по содержанию цинка в почвах и произрастающих на них растениях.

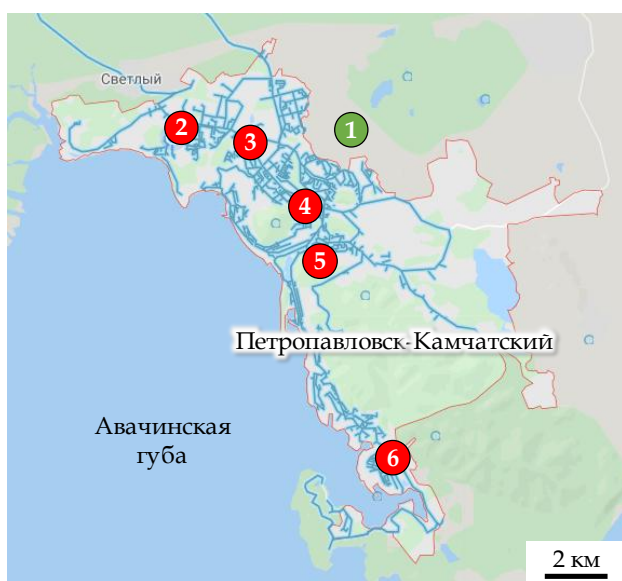


Рис. 1. Карта-схема районов отбора проб почв и растительности в г. Петропавловск-Камчатский:  
1 – фоновый участок, 2 – район Автостанция 10-й км,  
3 – район Краевая библиотека,  
4 – район Ботанический переулок,  
5 – район Стадион «Спартак», 6 – район Госпиталь

Отбор проб листьев растений и почвы проводился в летний период 2018 г. в следующих районах г. Петропавловска-Камчатского: Автостанция 10-й км, Краевая библиотека, Ботанический переулок, Стадион «Спартак», Госпиталь (рис. 1). Фоновые пробы отбирались на достаточном удалении от города и автодорог (район озера Синичкино). Участки настоящего исследования выбирали по расположению к наиболее загруженным перекресткам и котельным. Отбор почвенного и растительного материала производился согласно методическим указаниям по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства [6]. В качестве биоиндикаторов были использованы растения травянисто-кустарникового (шиповник *Rosa* sp., полынь *Artemisia vulgaris*) и древесного (ива *Salix* sp., береза *Betula ermanii*, ольха *Alnus* sp.) ярусом. Сбор листьев проводился методом средней пробы.

Одновременно с отбором проб растительного материала осуществлялся сбор почвы на глубине 0–20 см методом «конверта» путем осреднения материала из 5 частных проб. Все отобранные пробы высушивались до воздушно-сухого состояния и просеивались через сито с диаметром отверстий 2 мм. Кислотное озоление растительного и почвенного материала проводилось в системе разложения проб Milestone Ethos UP. Содержание цинка в образцах листьев растений и почвы определялось с помощью атомно-эмиссионного спектрометра с микроволновой плазмой Agilent MP-AES 4200.

Для оценки уровня металлического загрязнения почв был рассчитан коэффициент концентрации ( $K_c$ ), представляющий собой отношение концентрации металла в почве исследованного

района к его фоновому значению [7]. Интенсивность поглощения цинка различными видами растений определяли с помощью коэффициента биологического поглощения (КБП), путем вычисления отношения содержания элемента в золе их листьев к его валовому содержанию в почве. По интенсивности поглощения цинка растениями были выделены группы биологического накопления (КБП>1) и биологического захвата (КБП<1) [8, 9].

**Почва.** Среди веществ, попадающих в почву из выбросов и отходов, цинк относится к химическим элементам 1 класса опасности [7]. Согласно Гигиеническим нормативам предельно допустимая концентрация (ПДК) цинка для почв равна 23,0 мг/кг [10]. В 2018 г. его содержание в почве фонового участка не превышало ПДК и составило 22,69 мг/кг. В исследованных почвах территорий г. Петропавловска-Камчатского концентрация цинка изменялась в диапазоне 40,21–64,55 мг/кг (рис. 2). Содержание этого металла во всех районах, кроме фонового, превышало ПДК. Наименьшее содержание цинка отмечено в почвах района Автостанция (40,21 мг/кг), наибольшее выявлено в районе Госпиталь (64,55 мг/кг), что выше концентрации в почвах Фонового участка в 2,8 раза. Ряд уменьшения концентрации цинка в почвах исследованных районов г. Петропавловска-Камчатского можно представить в следующей последовательности: Госпиталь > Стадион «Спартак» > Краевая библиотека > Ботанический переулок > Автостанция 10-й км > Фоновый участок (рис. 2). В табл. 1 представлены превышения ПДК цинка в почвах исследованных районов и значения его коэффициента концентрации. В целом  $K_c$  отражает антропогенный вклад в накопление цинка в почвах города. С учетом полученных данных и в соответствии с Методическими указаниями МУ 2.1.7.730-99 [7] все почвы проанализированных районов были отнесены к категории очень сильного загрязнения (табл. 1).

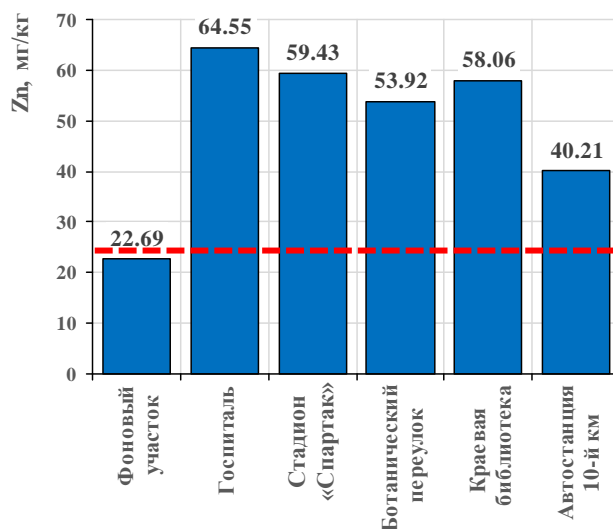


Рис. 2. Содержание цинка в почвах исследуемых районов г. Петропавловска-Камчатского в летний период 2018 г. Пунктирной линией отмечена ПДК цинка для почв (23,0 мг/кг)

Таблица 1

Оценка степени загрязнения цинком почв г. Петропавловска-Камчатского

Район	Превышение ПДК	Коэффициент концентрации ( $K_c$ ) цинка	Категория загрязнения почв
Фоновый участок	0,99	–	–
Госпиталь	2,81	2,84	Очень сильная
Стадион «Спартак»	2,58	2,62	Очень сильная
Ботанический переулок	2,34	2,38	Очень сильная
Краевая библиотека	2,52	2,56	Очень сильная
Автостанция 10-й км	1,75	1,77	Очень сильная

**Растительность.** Каждый исследованный район города характеризуется видовым разнообразием фитоценозов. Так, шиповник (*Rosa* sp.) отсутствовал в районах Госпиталь и Ботанический переулок, ольха (*Alnus* sp.) – в районах Госпиталь, Краевая библиотека и Автостанция 10-й км. При этом полынь (*Artemisia vulgaris*), ива (*Salix* sp.) и береза (*Betula ermanii*) произрастали на всех исследованных участках г. Петропавловска-Камчатского (рис. 3).

Все растительные пробы фонового участка отличались меньшим содержанием цинка по сравнению с аналогичными пробами из других районов. Наибольшее содержание этого металла в листьях исследованных видов выявлено в районе Автостанция 10-й км. Здесь его значение у представителей древесного яруса превышало 200 мг/кг, в то же время у полыни и шиповника оно составило 111,2 и 31,5 мг/кг соответственно (рис. 3). В целом во всех районах города накопление цинка у представителей ивы, ольхи и березы выше, чем у растений травянисто-

кустарникового яруса. Среди проанализированных видов у *Salix* sp. выявлена наиболее высокая степень его биоаккумуляции. В исследованных пробах листьев ивы концентрация цинка изменялась в пределах 116,81–246,14 мг/кг (табл. 2). Максимальный показатель этого металла выявлен у растений, собранных в районе Автостанция 10-й км, наименьший – у растений района Ботанический переулок. Во всех пробах листьев ивы, собранных в городской среде, содержание цинка было выше, чем в почвах мест их произрастания. Его концентрация у представителей *Salix* уменьшается в следующей последовательности: Автостанция 10-й км > Стадион «Спартак» > Краевая библиотека > Госпиталь > Ботанический переулок > Фоновый участок (рис. 3, табл. 2). Необходимо отметить, что последовательность районов по степени накопления цинка в листьях растений не совпадает с таковой для почв. Вероятно, это связано с преобладанием в районе Автостанция 10-й км аэрального пути его поступления в растения.

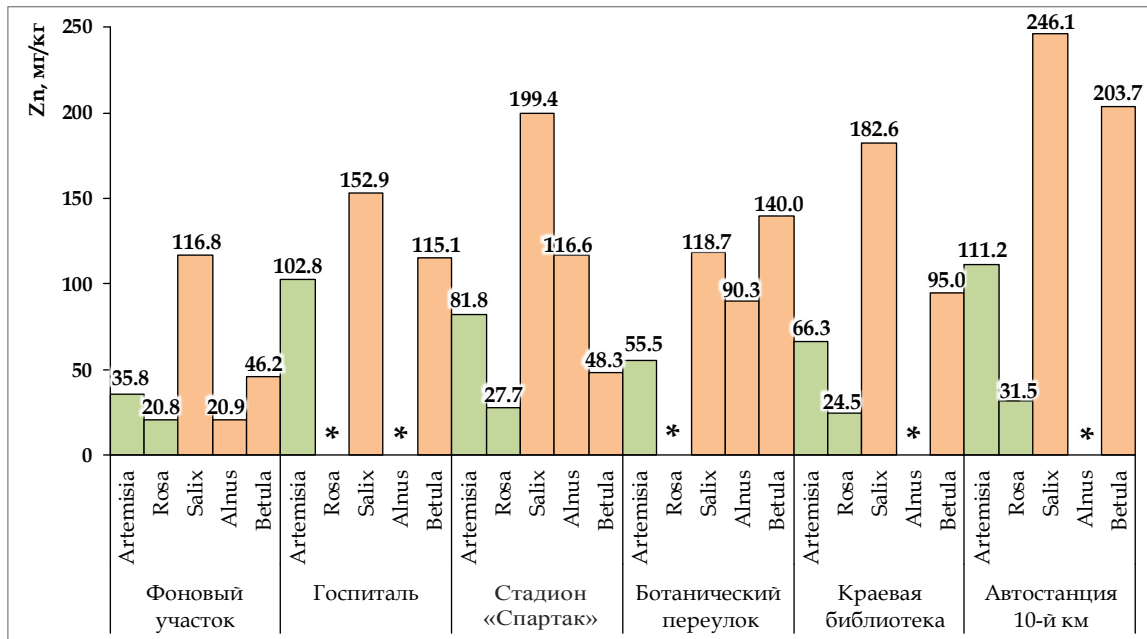


Рис. 3. Содержание цинка в листьях растений, собранных в исследованных районах г. Петропавловска-Камчатского в летний период 2018 г. Травянисто-кустарниковый ярус выделен зеленой заливкой ячейки, древесный – оранжевой заливкой. «\*» – растения данного вида не произрастали в исследуемом районе

Таблица 2

Уровни содержания цинка в почвах и листьях растений исследованных районов

г. Петропавловска-Камчатского

Компонент исследованного района	Уровни содержания цинка, мг/кг	Ряд уменьшения содержания цинка в исследуемых районах
Почва	22,69–64,55	Госпиталь > Стадион «Спартак» > Краевая библиотека > Ботанический переулок > Автостанция 10-й км
<i>Artemisia vulgaris</i>	35,84–111,21	Автостанция 10-й км > Госпиталь > Стадион «Спартак» > Краевая библиотека > Ботанический переулок
<i>Rosa</i> sp.	20,84–31,52	Автостанция 10-й км > Стадион «Спартак» > Краевая библиотека
<i>Salix</i> sp.	116,81–246,14	Автостанция 10-й км > Стадион «Спартак» > Краевая библиотека > Госпиталь > Ботанический переулок
<i>Alnus</i> sp.	20,92–116,57	Стадион «Спартак» > Ботанический переулок
<i>Betula ermanii</i>	46,22–203,65	Автостанция 10-й км > Ботанический переулок > Госпиталь > Краевая библиотека > Стадион «Спартак»

Для оценки степени поглощения цинка растениями, произраставшими на фоновом участке, был рассчитан коэффициент биологического поглощения (табл. 3). С учетом полученных значений КБП все виды были разделены на две группы: с сильным и слабым накоплением. Так, к первой группе отнесены полынь, береза и ива. При этом у последней выявлено наибольшее значение коэффициента – 5,15. Остальные виды, *Rosa* sp. и *Alnus* sp., имели слабую интенсивность поглощения цинка, их КБП составил 0,92 (табл. 3).

Коэффициент биологического поглощения цинка растениями Фонового участка

Растение	КБП	Интенсивность поглощения
<i>Salix</i> sp.	5,15	Сильное накопление
<i>Betula ermanii</i>	2,04	Сильное накопление
<i>Artemisia vulgaris</i>	1,58	Сильное накопление
<i>Rosa</i> sp.	0,92	Слабое накопление, средний захват
<i>Alnus</i> sp.	0,92	Слабое накопление, средний захват

Подводя итог проведенной работы, можно отметить, что содержание цинка в почве исследованных территорий г. Петропавловска-Камчатского в 2018 г. превышало ПДК. Во всех районах его накопление достигало 40 мг/кг и более. Наиболее загрязненные почвенные образцы были собраны в районе Госпиталь, который также характеризуется одним из наиболее высоких уровней загрязнения воздуха [5]. Для оценки степени металлического загрязнения различных районов города целесообразно использовать иву (*Salix* sp.), которая имеет высокий коэффициент биологического поглощения цинка. Ранее нами была показана перспективность использования этого вида при мониторинге загрязнения свинцом территорий г. Петропавловска-Камчатского [11]. По содержанию цинка в растительных пробах наиболее выражено металлическое загрязнение в районе Автостанция 10-й км. Этот район является местом интенсивного движения автотранспорта, здесь также расположены обширные парковочные зоны и локальные источники загрязнения – котельные и другие производственные предприятия. Кроме того, в районах Автостанция 10-й км и Госпиталь наблюдалось захламление территории различным мусором.

#### Литература

1. Sharma R.K., Agrawal M. Biological effects of heavy metals: An overview // J. Environ. Biol. – 2005. – Vol. 26, № 3/4. – P. 1–13.
2. Воскресенский В.С., Воскресенская О.Л. Влияние факторов городской среды на функциональное состояние древесных растений: Монография. – Йошкар-Ола: Мар. гос. ун-т, 2011. – 195 с.
3. Аккумуляция железа в растениях урбоэкосистем г. Калининграда / П.В. Масленников, Л.Н. Скрыпник, М.В. Куркина, П.В. Федурев, А.В. Тюрганова, Е.В. Бабайцева, К.Ю. Устинова // Современные проблемы науки и образования. – 2016. – № 3 [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=24507> (дата обращения: 30.03.2020).
4. Авдощенко В.Г. К вопросу об источниках поступления тяжелых металлов в почву города Петропавловск-Камчатский // 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.
5. Доклад об экологической ситуации в Камчатском крае в 2018 г. // Министерство природных ресурсов и экологии Камчатского края. – Петропавловск-Камчатский, 2019. – 395 с.
6. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. – М.: ЦИНАО, 1992. – 57 с.
7. МУ 2.1.7.730-99 Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест: Методические указания. – М.: НИИ экологии человека и гигиены окружающей среды, 1999. – 20 с.
8. Авессаломова И.А. Геохимические показатели при изучении ландшафтов: Учебно-методическое пособие. – М.: Изд-во Московского университета, 1987. – 108 с.
9. Перельман А.И. Геохимия. – М.: Высшая школа, 1979. – 423 с.
10. ГН 2.1.7.2041-06 Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве: гигиенические нормативы. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2006. – 15 с.
11. Авдощенко В.Г., Климова А.В. Содержание свинца в почве и растительном покрове территорий г. Петропавловска-Камчатского // Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промышленное и техническое использование: Материалы XI Национальной (всероссийской) научно-практической конференции. – Петропавловск-Камчатский, 2020. – С. 109–114.