

Секция 3. СОСТОЯНИЕ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ, ПРОБЛЕМЫ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ. ВЛИЯНИЕ ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА ПРИРОДНУЮ СРЕДУ

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 СВИНЦА В ПОЧВЕ И РАСТИТЕЛЬНОМ ПОКРОВЕ ТЕРРИТОРИЙ Г. ПЕТРОПАВЛОВСКА-КАМЧАТСКОГО

В работе представлены результаты определения накопления свинца в почвенно-растительном покрове территорий г. Петропавловск-Камчатского в летний период 2017 г. Концентрация этого металла в почвах всех исследованных районов, расположенных в непосредственной близости к наиболее загруженным дорожным развязкам и предприятиям теплоэнергетики города, не превышала допустимый уровень для кислых почв (65 мг/кг) и изменялась в диапазоне 1,38–21,1 мг/кг. Анализ содержания свинца в листьях растений, собранных в местах отбора проб почвы, выявил, что не все из них характеризуются способностью к биоаккумуляции свинца. Среди представителей травянисто-кустарникового яруса к растениям-индикаторам можно отнести шиповник, среди представителей древесного яруса – иву. Ряд уменьшения концентрации свинца в почвах и листьях указанных выше растений в исследованных районах г. Петропавловск-Камчатского можно представить в следующей последовательности: Автостанция 10-й км > Ботанический переулок > Стадион «Спартак» > Госпиталь > Краевая библиотека. В наиболее загрязненном свинцом районе города – Автостанция 10-й км – его содержание в почвах составило 21,1 мг/кг, в листьях шиповника – 28,5 мг/кг и в листьях ивы – 55,7 мг/кг.

Ключевые слова: тяжелые металлы, свинец, 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*

LEAD CONTENT IN SOIL AND VEGETATION ON THE TERRITORY OF PETROPAVLOVSK-KAMCHATSKY CITY

The results of determining the accumulation of lead in the soil and vegetation of Petropavlovsk-Kamchatsky in the summer of 2017 were discussed. The lead concentration in the soils of all studied areas located closely to the busiest roads and heat power enterprises of the city did not exceed the permissible level for acidic soils (65 mg/kg) and changed in the range of 1,38–21,1 mg/kg. The analysis of the lead content in the plants collected at the soil sampling sites revealed that not all of them are characterized by a high capacity for lead bioaccumulation. Among the herbaceous-shrub layer representatives *Rosa* can be detected as an indicator plant, among the tree layer representatives it can be *Salix*. The picture of reducing the concentration of lead in the soils and leaves of the above mentioned plants in the studied areas of the Petropavlovsk-Kamchatsky City can be represented in the following order: Bus Station at the 10 km > Botany Lane > Spartak Stadium > Hospital > Regional Library. The most polluted area of the city is Bus Station at the 10 km. The lead content in the soil was 21,1 mg/kg, in the *Rosa* leaves was 28,5 mg/kg and in the willow leaves was 55,7 mg/kg.

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

Тяжелые металлы в настоящее время являются одними из основных загрязнителей окружающей среды [1, 2]. Их содержание в воздухе, воде и почве неизменно возрастает. Это прежде всего связано с хозяйственной деятельностью человека, а именно активной работой промышленных предприятий, стремительным увеличением количества автотранспорта и внесением в почву удобрений, пестицидов и других соединений, улучшающих ее свойства. Все это приводит к тому, что тяжелые металлы аккумулируются в абиотических компонентах среды – почвах и донных отложениях. Их последующая транслокация в растения и далее через пищевые цепи приводит к многократному биологическому усилению, что в конечном счете может негативно сказываться на здоровье человека [3, 4].

В крупных городах проблема загрязнения среды тяжелыми металлами является наиболее актуальной, поскольку именно здесь, как правило, их поступление связано с наличием нескольких техногенных источников [1, 2]. Среди тяжелых металлов свинец относится к одним из приоритетных загрязнителей атмосферного воздуха, почвы и других компонентов окружающей среды, его накопление происходит наиболее интенсивно [5].

На концентрацию свинца в почве влияют ее свойства: кислая среда способствует его накоплению в более высоких концентрациях. Биоаккумуляция свинца, как и других тяжелых металлов, у растений весьма видоспецифична. По способности к их накоплению выделяют три группы растений: 1) аккумуляторы, накапливают металлы в надземной части как при низких, так и высоких их концентрациях в среде; 2) индикаторы, у которых содержание металла в тканях отражает его концентрацию в окружающей среде; 3) исключатели, поддерживают низкое содержание металлов в побегах, несмотря на их высокую концентрацию в среде [6]. Анализ содержания токсичных металлов в почве и растениях-индикаторах позволяет комплексно проводить экологический мониторинг урбанизированных и нарушенных хозяйственной деятельностью человека территорий.

В Камчатском крае к наиболее урбанизированным территориям относятся город Петропавловск-Камчатский и прилегающие к нему районы. Основными источниками поступления тяжелых металлов здесь являются вулканическая деятельность, автотранспорт и предприятия теплоэнергетики [7, 8].

Целью настоящей работы является оценка экологического состояния разных районов Петропавловска-Камчатского по содержанию свинца в почвах и произрастающих на них растениях.

Отбор проб листьев растений и почвы проводился в летний период 2017 г. в следующих районах Петропавловска-Камчатского: Автостанция 10-й км, Краевая библиотека, Ботанический переулок, Стадион «Спартак», Госпиталь (рис. 1). Фоновый участок располагался удаленно от городской застройки и автодорог (район озера Синичкино). Выбор участков основан на расположении наиболее загруженных дорожных перекрестков и котельных. Отбор почвенного и растительного материала, подготовка и химический анализ проб производился согласно методическим указаниям по определению тяжелых металлов в почвах сельскохозяйственных и продукции растениеводства

[9]. В качестве биоиндикаторов были использованы листья растений травянисто-кустарникового (*Rosa* sp., *Artemisia vulgaris*) и древесного (*Salix* sp., *Betula ermanii*, *Alnus* sp.) ярусов. 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 пяти частных проб. Все отобран-

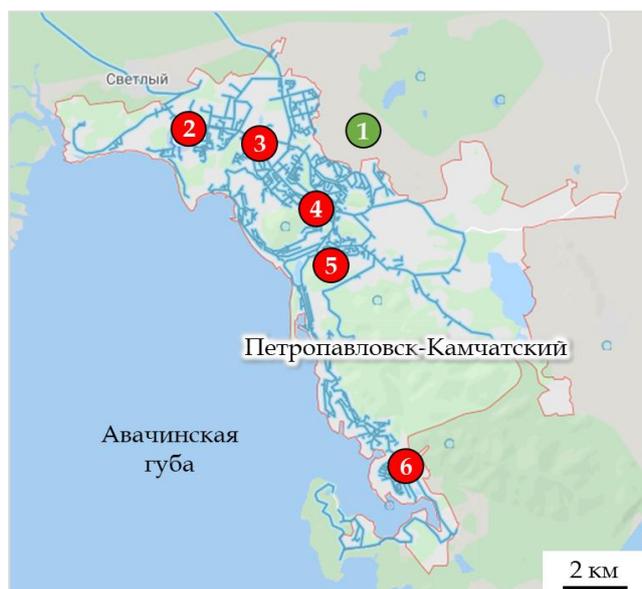


Рис. 1. Карта-схема районов отбора проб почв и растительности в г. Петропавловске-Камчатском:
1 – фоновый участок, 2 – район Автостанция 10-й км,
3 – район Краевая библиотека, 4 – район Ботанический переулок,
5 – район Стадион «Спартак», 6 – район Госпиталь

ные пробы высушивались до воздушно-сухого состояния и просеивались через сито с диаметром отверстий 2 мм. Содержание свинца в листьях и почве определялось атомно-абсорбционным методом, химические анализы выполнялись в лаборатории ФГБУ ЦАС «Камчатский». Для оценки уровня металлического загрязнения почв был рассчитан коэффициент концентрации, представляющий собой отношение концентрации металла в почве к его фоновому значению [10].

Почва. Для всех почв Камчатки, и в частности для почв Петропавловска-Камчатского, характерна кислая реакция среды [11]. Нормативы содержания свинца для разных типов почв представлены как ориентировочно-допустимые концентрации (ОДК). Согласно Гигиеническим нормативам ОДК свинца для кислых почв равен 65 мг/кг [12]. В 2017 г. содержание свинца в почве фонового участка не превышало ОДК и составило 0,7 мг/кг, что, вероятно, может свидетельствовать о незначительном естественном уровне содержания свинца для этого района. В исследованных почвах территорий Петропавловска-Камчатского уровень содержания этого металла изменялся в пределах 1,38–21,1 мг/кг (рис. 2). Наименьшее содержание свинца отмечено в почвах района Краевая библиотека. Наибольшее его содержание выявлено в районе Автостанция 10-й км (21,1 мг/кг), что существенно выше концентрации в почвах фонового участка, в 31 раз. В остальных случаях накопление свинца в почвах исследуемых районов города не превышало 5,5 мг/кг. Следует отметить, что в целом в почвах исследованных участков в летний период 2017 г. его содержание было ниже ОДК.

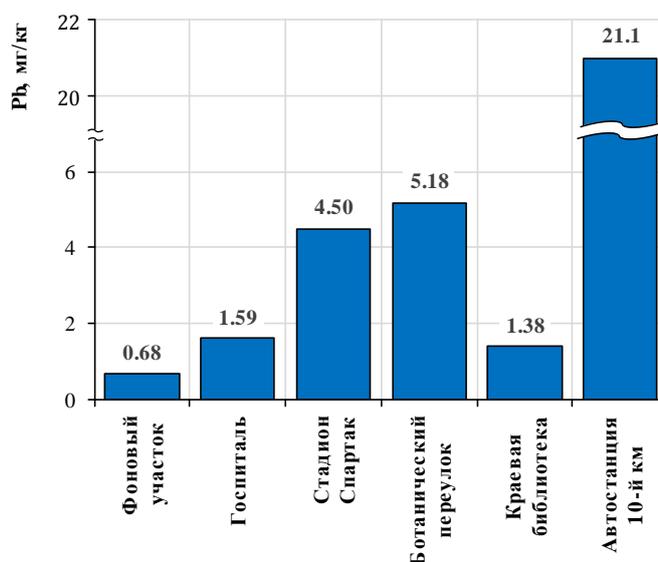


Рис. 2. Содержание свинца в почвах исследуемых районов г. Петропавловска-Камчатского в летний период 2017 г.: 1 – фоновый участок, 2 – Автостанция 10-й км, 3 – Краевая библиотека, 4 – Ботанический переулок, 5 – Стадион «Спартак», 6 – Госпиталь

Ряд уменьшения концентрации свинца в почвах исследованных районов Петропавловска-Камчатского можно представить в следующей последовательности: Автостанция 10-й км > Ботанический переулок > Стадион «Спартак» > Госпиталь > Краевая библиотека > Фоновый участок (рис. 2). Коэффициент концентрации свинца в почвах урбанизированных территорий представлен в табл. 1, он напрямую отражает антропогенный вклад в накопление этого металла в исследованных районах. В ходе выполнения настоящей работы выявлено, что поступление свинца в почвенный покров городской среды в результате антропогенного влияния наибольшее в районе Автостанция 10-й км. Кроме того, для этого района среди всех исследуемых участков города отмечено наибольшее содержание кадмия в почве – 0,13 мг/кг, что в шесть раз превышает его значение для почв фонового участка, расположенного вблизи оз. Синичкино.

Таблица 1

Коэффициент концентрации свинца в почвах г. Петропавловска-Камчатского

Район	Коэффициент концентрации
Автостанция 10-й км	31,2
Ботанический переулок	7,6
Стадион «Спартак»	6,6
Госпиталь	2,4
Краевая библиотека	2,0

Растительность. Важно отметить, что исследованные районы отличались видовым составом произрастающих растений. Так, в районах Госпиталь и Ботанический переулок отсутствовал шиповник (*Rosa* sp.). Кроме того, данные по содержанию свинца в листьях березы (*Betula ermanii*) и полыни (*Artemisia vulgaris*) для некоторых районов отсутствовали по ряду причин. Поэтому

рассчитать значения фактора биоаккумуляции этого металла для всех видов растений из разных участков Петропавловска-Камчатского не представлялось возможным. Однако содержание свинца у представителей травянисто-кустарникового и древесного ярусов в целом определены для всех исследуемых районов города (рис. 3).

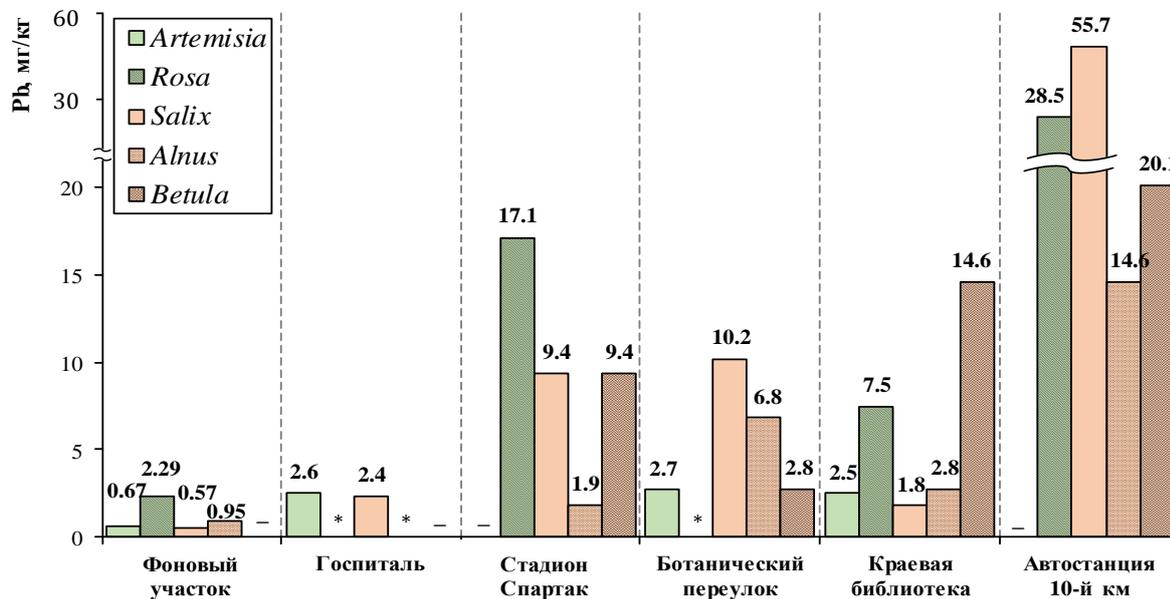


Рис. 3. Содержание свинца в листьях растений, собранных в исследуемых районах г. Петропавловска-Камчатского. Травянисто-кустарниковый ярус выделен зеленой заливкой ячейки, древесный ярус – оранжевой заливкой.

“–” – отмечены пробы растений, для которых данные по содержанию свинца отсутствуют.

“*” – растения данного вида не произрастали в исследуемом районе

В травянисто-кустарниковом ярусе максимальные значения содержания свинца были зарегистрированы у шиповника во всех районах его сбора и имели схожую тенденцию с его содержанием в почве соответствующих районов. Наименьшее его значение отмечено для фонового участка – 2,29 мг/кг, наибольшее – в листьях растений, собранных в районе Автостанция 10-й км – 55,7 мг/кг. Уровень содержания свинца в листьях полыни во всех исследованных районах города, включая фоновый участок, не превышал 2,7 мг/кг и соответствовал его содержанию в почве. В районе Ботанический переулоч накопление свинца в листьях полыни было в два раза ниже, чем в почве (рис. 2 и 3). Из приведенных выше данных о содержании проанализированного металла в листьях растений травянисто-кустарникового яруса следует отметить, что представители рода *Rosa* могут быть использованы в качестве биоиндикаторов металлического загрязнения территорий Петропавловска-Камчатского, в то время как *A. vulgaris*, вероятно, относится к группе растений-исключателей.

Способность к накоплению свинца растениями древесного яруса оказалась выше, чем у представителей травянисто-кустарникового яруса (рис. 3). В исследованных территориях Петропавловска-Камчатского его содержания в листьях ольхи варьировало в пределах 1,86–14,60 мг/кг, в листьях березы – 2,73–20,13 мг/кг (табл. 2). Однако в некоторых районах уровень накопления свинца указанными видами был сопоставим (район Ботанический переулоч) или ниже (район Автостанция 10-й км) содержания такового в почве (рис. 2 и 3).

Наиболее высокая способность к аккумуляции свинца среди проанализированных растений выявлена у *Salix*. Эта особенность также была отмечена другими исследователями [13, 14]. Более того, в процитированных выше работах было показано, что накопление свинца в различных частях ивы происходит с разной интенсивностью. Так, скорость его накопления в корнях и ветвях растений выше, чем в стеблях и листьях. В проанализированных нами пробах листьев ивы из разных районов Петропавловска-Камчатского содержание свинца изменялось в пределах 1,81–55,72 мг/кг (табл. 2). Максимальное его значение выявлено для растений, собранных в районе Автостанция 10-й км, наименьшее – для района Краевая библиотека. Во всех пробах листьев

ивы, собранных в городской среде, содержание свинца было выше, чем в почвах мест их произрастания. Концентрация свинца у представителей *Salix* уменьшается в следующей последовательности: Автостанция 10-й км > Ботанический переулок > Стадион «Спартак» > Госпиталь > Краевая библиотека > Фоновый участок (рис. 3, табл. 2). Полученная последовательность районов по степени накопления свинца в листьях ивы совпадает с таковой для почв исследованных территорий.

Таблица 2

Уровни содержания свинца в почвах и листьях растений исследованных районов г. Петропавловска-Камчатского

Компонент исследованного района	Уровни содержания свинца, мг/кг	Ряд уменьшения содержания свинца в исследуемых районах
Почва	1,38–21,15	Автостанция 10-й км > Ботанический переулок > Стадион > Госпиталь > Библиотека
<i>Artemisia vulgaris</i>	2,50–2,71	Ботанический переулок ≥ Госпиталь ≥ Библиотека
<i>Rosa</i> sp.	7,48–28,48	Автостанция 10-й км > Стадион > Библиотека
<i>Salix</i> sp.	1,81–55,72	Автостанция 10-й км > Ботанический переулок > Стадион > Госпиталь > Библиотека
<i>Alnus</i> sp.	1,86–14,60	Автостанция 10-й км > Ботанический переулок > Библиотека > Стадион
<i>Betula ermanii</i>	2,75–20,13	Автостанция 10-й км > Библиотека > Стадион > Ботанический переулок

На основе проведенных исследований можно заключить, что для оценки загрязнения территорий Петропавловска-Камчатского свинцом могут быть использованы растения-биоиндикаторы. Таковыми среди представителей травянисто-кустарникового яруса способны выступать шиповник (*Rosa* sp.), среди представителей древесного яруса – ива (*Salix* sp.). Уровни накопления свинца в их листьях, в зависимости от района сбора, изменялись в широких пределах и превышали его содержание в почвах города.

Комплексный анализ содержания свинца в почвах и растительном покрове (листья шиповника и ивы) исследованных районов в летний период 2017 г. позволил выделить среди территорий Петропавловска-Камчатского участки, испытывающие явное антропогенное воздействие (табл. 2). К районам с выраженным металлическим загрязнением относятся: Автостанция 10-й км, Ботанический переулок и Стадион «Спартак». Все они характеризуются интенсивным движением автотранспорта, поскольку расположены в ключевых для города местах дорожных развязок. Первый и последний из указанных районов также имеют большую зону автопарковки и автостоянки общественного транспорта. Район Ботанический переулок расположен в непосредственной близости от федеральной трассы, соединяющей морской порт Петропавловска-Камчатского и аэропорт Елизово.

Литература

1. Davydova S. Heavy metals as toxicants in big cities // *Microchemical Journal*. – 2005. – Vol. 79. – P. 133–136. DOI: 10.1016/j.microc.2004.06.010
2. Sharma V., Singh P. Heavy metals pollution and it's effects on environment and human health // *International Journal of Recent Scientific Research*. – 2015. – Vol. 6, issue 12. – P. 7752–7755.
3. Duruibe J.O., Ogwuegbu M.O.C., Ekwurugwu J.N. Heavy metal pollution and human biotoxic effects // *International Journal of Physical Sciences*. – 2007. – Vol. 2. – P. 112–118.
4. Heavy metal biomagnification and genotoxic damage in two trophic levels exposed to mine tailings: a network theory approach / Cervantes-Ramírez L.T., Ramírez-López M., Mussali-Galante P., Ortiz-Hernández M.L., Sánchez-Salinas E., Tovar-Sánchez E. // *Revista Chilena de Historia Natural*. 2018. – Vol. 91, № 6 [Electronic resource]. – URL: <https://doi.org/10.1186/s40693-018-0076-7> (дата обращения: 24.02.2020).
5. Ильин В.Б. Тяжелые металлы в системе почва – растение. – Новосибирск: Наука, 1991. – 152 с.
6. Серегин И.В., Кожневникова А.Д. Роль тканей корня и побега в транспорте и накоплении кадмия, свинца, никеля и стронция // *Физиология растений*. – 2008. – Т. 55, № 1. – С. 3–26.

7. 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. В 3 ч. Ч. 1. – Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение». – 2017. – С. 241–243.
8. Доклад об экологической ситуации в Камчатском крае в 2018 г. / Министерство природных ресурсов и экологии Камчатского края. – Петропавловск-Камчатский, 2019. – 395 с.
9. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. – М.: ЦИНАО, 1992. – 57 с.
10. 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.
11. Иваненко Н.В. Анализ почвенно-земельных ресурсов Камчатского края – перспективы использования // Успехи современного естествознания. – 2016. – № 12 (1). – С. 85–89.
12. ГН 2.1.7.2511-09. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве: Гигиенические нормативы. – М.: Федеральный центр гигиены эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. – 10 с.
13. Pulford I.D., Riddell-Black D., Stewart C. Heavy metal uptake by willow clones from sewage sludge-treated soil: the potential for phytoremediation // International Journal of Phytoremediation. – 2002. – Vol. 4, № 1. – С. 59–72.
14. Tozsér D., Magura T., Simon E. Heavy metal uptake by plant parts of willow species: A meta-analysis // Journal of Hazardous Materials. – 2017. – Vol. 336. – P. 101–109.