

## СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В РАСТЕНИЯХ ГОРОДА ПЕТРОПАВЛОВСКА-КАМЧАТСКОГО (КАМЧАТСКИЙ КРАЙ) В 2017–2018 гг.

Авдощенко В.Г., Климова А.В.

Камчатский государственный технический университет, г. Петропавловск-Камчатский, ул. Ключевская, 35.

В работе представлены результаты определения содержания цинка, меди, свинца и кадмия в листьях растений *Alnus hirsuta*, *Artemisia vulgaris kamtschatica*, *Betula ermanii*, *Rosa amblyotis*, *Salix udensis*, собранных в г. Петропавловке-Камчатском в летний период 2017–2018 гг. В 2017 г. в растениях исследуемых районов содержание меди варьировало от 5,5 до 22,5 мг/кг, в 2018 г. – от 7,7 до 36,6 мг/кг. Наибольшее ее содержание в 2017 г. и в 2018 г. выявлено в *A. vulgaris*, наименьшее – в *R. amblyotis*. В 2017 г. концентрация цинка изменялась в пределах от 12,9 до 281 мг/кг, в 2018 – от 20,8 до 246 мг/кг, наибольшая концентрация в 2017 г. и 2018 г. отмечена у *S. udensis*, наименьшая – у *R. amblyotis*. В 2017 г. диапазон содержания свинца в растительных образцах составлял 0,3–3,0 мг/кг, в 2018 – 1,2–3,8 мг/кг. В летний период 2017 г. в растительных пробах исследованных растений содержание кадмия варьировало от 0,2 до 2,7 мг/кг, в 2018 – от 0,1 до 3,6 мг/кг. Его наименьшая концентрация выявлена в 2017 году у *R. amblyotis*, в 2018 – у *B. ermanii*, наибольшая – в листьях *S. udensis* в 2017 и 2018 г. Проведенные исследования позволяют выделить для территорий г. Петропавловска-Камчатского виды – индикаторы металлического загрязнения из представителей травянисто-кустарничкового яруса – *A. vulgaris kamtschatica*, из древесного яруса – *S. udensis*.

**Ключевые слова:** кадмий, медь, металлическое загрязнение, Петропавловск-Камчатский, свинец, тяжелые металлы, урбанизированные территории, фитоценоз, цинк, *Artemisia vulgaris kamtschatica*, *Salix udensis*.

## CONTENTS OF HEAVY METALS IN THE PLANTS OF PETROPAVLOVSK-KAMCHATSKY (KAMCHATKA TERRITORY) IN 2017–2018

Avdoshchenko V.G., Klimova A.V.

Kamchatka State Technical University, Petropavlovsk-Kamchatsky, Klyuchevskaya Str. 35.

Results of determining the content of zinc, copper, lead and cadmium in the leaves of *Alnus hirsuta*, *Artemisia vulgaris kamtschatica*, *Betula ermanii*, *Rosa amblyotis*, *Salix udensis* collected from the territories of Petropavlovsk-Kamchatsky in 2017–2018 summer period are discussed. In the summer of 2017, the copper content in the plants from studied areas varied in the range from 5.5 to 22.5 mg/kg, in 2018 – from 7.7 to 36.6 mg/kg. Its highest content in 2017 and 2018 was found in *A. vulgaris*, and the lowest in *R. amblyotis*. In 2017, the concentration of zinc varied from 12.9 to 281 mg/kg, in 2018 – from 20.8 to 246 mg/kg, the highest concentration in 2017 and 2018 is typical for *S. udensis*, the lowest for *R. amblyotis*. In 2017, the range of lead content in plant samples was from 0.3 to 3.0 mg/kg, in 2018 – from 1.2 to 3.8 mg/kg. In the summer of 2017, the cadmium content in studied plant samples varied in the range from 0.2 to 2.7 mg/kg, in 2018 – from 0.1 to 3.6 mg/kg. The lowest concentration of cadmium was found in 2017 in *R. amblyotis*, in 2018 – *B. ermanii*, the highest in the leaves of *S. udensis* in 2017 and 2018. Our results allowed identifying species

– indicators of metal pollution for the territories of Petropavlovsk-Kamchatsky: *A. vulgaris kamtschatica* from the representatives of the herbaceous-shrub layer and *S. udensis* from the tree layer.

**Key words:** cadmium, copper, metal pollution, Petropavlovsk-Kamchatsky, lead, heavy metals, urbanized territories, phytocoenosis, zinc, *Artemisia vulgaris kamtschatica*, *Salix udensis*.

## ВВЕДЕНИЕ

Тяжелые металлы (ТМ) постоянно присутствуют в различных компонентах экосистем: в почвах, донных отложениях, водных объектах и живых организмах. Несмотря на то что многие из тяжелых металлов относятся к группе необходимых микроэлементов для нормального протекания физиологических процессов у растений и животных, в современных условиях они часто выступают как токсиканты. В экологических исследованиях ТМ относят к приоритетным неорганическим загрязнителям [Sharma, Singh, 2015; Коновалова, 2018]. Это связано с их постоянным избыточным поступлением с выбросами, отходами, сбросами, и они представляют серьезную угрозу для биоценозов. Проблема металлического загрязнения актуальна практически для всех урбанизированных территорий [Davydova, 2005]. В городской среде количественное содержание и элементный состав металлов в среде зависят главным образом от антропогенного воздействия, однако для отдельных районов существенную роль в их поступление в окружающую среду могут играть естественные источники [Медведев, Деревягин, 2017; Захарихина, Литвиненко, 2019а, 2019б].

Содержание тяжелых металлов в живых организмах урбоэкосистем напрямую зависит от их концентрации в различных компонентах окружающей среды. Часто их допустимая норма определяется чувствительностью и устойчивостью представителей биоценоза к определенной концентрации, а сами живые организмы могут выступать в качестве биоиндикаторов [Кабата-Пендиас,

Пендиас, 1989]. Для отражения экологической ситуации городской зоны, в том числе загрязнение тяжелыми металлами, часто используют растения, так как это прикрепленные организмы, элементный состав которых определяется средой обитания.

Проникая в избытке в растительные организмы, металлы могут подавлять ход их метаболических процессов, тормозить развитие, снижать продуктивность [Эмбе, 2002]. Фитотоксичность ТМ и устойчивость к ним растений зависят от многих условий, существенное значение имеют вид и количество металла, находящегося в почвенном растворе. Растительные организмы проявляют видоспецифическую реакцию на присутствие в среде загрязнителя – некоторые виды устойчивы, другие накапливают его в высоких концентрациях. Благодаря исследованию закономерностей накопления и поглощения металлов, возможно выявить растения-индикаторы, позволяющие оценить содержание металлов в почве и воздухе. Сложно выделить универсальный вид-индикатор для любых территорий, так как показатели накопления и поглощения загрязнителей зависят от экологических факторов мест произрастания и вида растительного организма. По этой же причине не выделено универсальных значений допустимых концентраций определенных элементов в растениях.

*Медь* является одним из важнейших незаменимых биоэлементов, участвует в различных физиологических процессах: фотосинтезе, дыхании, фиксации азота и т. д. Ее природный избыток в растениях практически невозможен, но в зонах антропогенного влияния может накапливаться

в них в высоких концентрациях [Ильин, Сысо, 2001]. По абсолютному содержанию в растениях медь относится к группе средней концентрации [Ильин, 1991], а по показателям биоаккумуляции – к элементу средней степени поглощения [Панин, 1999]. Оптимальное содержание меди для растений – от 1 до 10 мг/кг, концентрация выше 20 мг/кг – токсичная [Алексеев, 1987].

*Цинк* также является необходимым микроэлементом растений [Войтюк, 2011]. Между цинком и другими микроэлементами существует антагонизм, при его избытке – тормозится поступление меди, железа и фосфора. Природный избыток цинка в растениях встречается редко [Ильин, Сысо, 2001]. Он относится к элементам повышенной концентрации [Ильин, 1991] и к элементу средней степени поглощения [Панин, 1999]. Оптимальная для жизнедеятельности концентрация цинка в растениях составляет 20–150 мг/кг, токсическая – 150–400 мг/кг [Серегина, 2017].

*Свинец* не является жизненно необходимым элементом для растений, его избыток ингибирует процессы дыхания и фотосинтеза. По содержанию в растениях свинец относится к группе средней концентрации [Ильин, 1991] и является элементом средней степени поглощения [Панин, 1999]. Оптимальный уровень содержания свинца для растений составляет 1,5–10,0 мг/кг, фитотоксический – от 60 и более мг/кг [Кабата-Пендис, Пендис, 1989].

*Кадмий* представляет собой один из наиболее токсичных неорганических загрязнителей окружающей среды. Он относится к 1-му классу опасности, его избыток в растениях тормозит фотосинтез, нарушает транспирацию и газообмен. Фитотоксичность кадмия выражается в создании барьера для поступления в растения таких важных элементов питания, как Zn, Mn, Cu, Ca, Mg и P [Ильин, Сысо, 2001]. Этот металл

является элементом низкой концентрации [Ильин, 1991] и относится к группе интенсивного поглощения [Панин, 1999]. Верхний предел нормальной концентрации кадмия в растениях, не оказывающий влияния на их функционирование, составляет 0,35 мг/кг [Кабата-Пендис, Пендис, 1989]. Его предельно допустимая концентрация в зависимости от вида растения определяется как 0,05–0,1 мг/кг для северных территорий [Лукина, Никонов, 1993], 0,3 мг/кг – для растительных кормов в животноводстве [Методические указания..., 1992].

Петропавловск-Камчатский (ПКГО) – город линейного типа со сложным рельефом местности и неравномерным распределением антропогенной нагрузки. Эти обстоятельства приводят к появлению зон с различными эдафическими и климатическими условиями и в конечном счете влияют на распределение поллютантов в среде, включая тяжелые металлы. Важной особенностью города является то, что существенный вклад в элементный состав среды вносит естественный источник поступления загрязнителей – вулканическая деятельность. Антропогенное привнесение металлов в основном связано с выбросами предприятий теплоэнергетики, автотранспорта и размещением металлических отходов.

Настоящая работа была направлена на выявление видов – индикаторов металлического загрязнения среди представителей древесного и травянисто-кустарникового ярусов растительного покрова г. Петропавловска-Камчатского и определение у них диапазонов содержания цинка, меди, свинца и кадмия в летний период 2017–2018 гг.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Отбор растительных образцов проводился в 2017 и 2018 гг. в летний период в сле-

дующих районах г. Петропавловска-Камчатского: «Автостанция 10-й км» (53°04'13.1"N, 158°35'34.5"E), «Краевая библиотека» (53°03'58.0"N, 158°37'18.8"E), «Ботанический переулок» (53°02'59.6"N, 158°39'21.2"E), «Стадион "Спартак"» (53°01'54.1"N, 158°39'06.4"E), «Госпиталь» (52°58'29.5"N, 158°41'42.7"E) (рис. 1). Дополнительно за пределами города, близ озера Синичкино, был выделен условно фоновый участок (53°04'39.1"N, 158°41'24.9"E).



Рис. 1. Карта-схема районов отбора растительных образцов в г. Петропавловске-Камчатском в 2017–2018 гг.: 1 – фоновый участок, 2 – район «Автостанция 10-й км», 3 – район «Краевая библиотека», 4 – район «Ботанический переулок», 5 – район «Стадион "Спартак"», 6 – район «Госпиталь»

Fig. 1. Plant sampling stations in Petropavlovsk-Kamchatsky in 2017–2018: 1 – background site, 2 – Bus terminal 10 km, 3 – Regional library, 4 – Botanic lane, 5 – Spartak Stadium, 6 – Hospital

Для определения содержания тяжелых металлов в растениях использовали только их листовые пластины. Среди представителей древесного яруса были отобраны листья ольхи волосистой (*Alnus hirsuta*), березы Эрмана (*Betula ermanii*) и ивы удской (*Salix udensis*), из представителей травяни-

сто-кустарникового яруса – полыни пышной (*Artemisia vulgaris kamtschatica*) и шиповника тупоушкового (*Rosa amblyotis*). Экологические факторы районов, влияющие на среду обитания растений, различны, что, как следствие, отражается на видовом разнообразии фитоценозов. Так, в районах «Автостанция 10-й км», «Краевая библиотека» и «Госпиталь» отсутствовала ольха волосистая, на участках «Ботанический переулок» и «Госпиталь» не произрастал шиповник тупоушковый. В 2017 г. сбор образцов березы Эрмана был ограничен только фоновым участком и районом «Госпиталь». В растительных сообществах всех территорий исследования были собраны пробы листьев ивы удской и полыни пышной.

Каждая проба растений формировалась как объединенный образец массой 0,5–1 кг, собранный из 8–10 точечных проб [Методические указания ..., 1992]. Отобранный растительный материал высушивали до воздушно-сухого состояния и просеивали через сито с диаметром отверстий 2 мм. Кислотное озоление листьев растений проводили в системе разложения проб Milestone Ethos UP. Химический анализ выполняли с помощью атомно-эмиссионного спектрометра с микроволновой плазмой Agilent MP-AES 4200. Вычисление концентраций элементов (Cu, Zn, Pb и Cd) в пробах и предварительную обработку полученных данных проводили в программе MP Expert (Agilent Technologies, США). Конечное значение концентрации каждого элемента в анализируемой пробе определяли как среднее арифметическое значение концентрации пяти параллельных измерений. Контроль точности определения концентраций всех металлов проводился по анализу стандартных образцов (ЛБ-1, ЭК-1, «ИГХ СО РАН»). Все значения концентрации приведены в мг/кг сухой массы.

Для сравнения накопления тяжелых металлов растениями из фонового участка и районов города было рассчитано их суммарное содержание, представляющее собой среднюю сумму всех концентраций в каждом виде растения за весь период исследования.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

**Медь.** В летний период 2017 г. в растениях исследуемых районов содержание меди варьировало в диапазоне от 5,5 до 22,5 мг/кг. Наибольшее содержание металла выявлено в листьях *A. vulgaris kamtschatica*, произраставшей на фоновом участке, наименьшее – в пробах *R. amblyotis* также из фонового участка (рис. 2, 1).

Все исследованные растения, кроме *Rosa*, с наибольшей концентрацией меди произрастали на фоновом участке. Здесь же выявлена наименьшая концентрация этого металла в листьях шиповника. Концентрация меди в листьях полыни пышной больше, чем в других растениях. Во всех образцах этого вида, за исключением собранных в районе «Госпиталь», содержание меди было токсичным (рис. 2, 1; табл. 1).

Летом 2018 г. в городской среде концентрация меди у исследуемых растений изменялась в диапазоне от 7,7 мг/кг до 36,6 мг/кг (рис. 2, 2). Наименьшие показатели характерны для шиповника. Как и в 2017 г., наибольшее содержание меди обнаружено в листьях полыни. В районе «Стадион “Спартак”» были отобраны образцы ольхи и березы с наибольшей концентрацией этого металла. Пробы других растений с наибольшим содержанием меди были взяты на разных участках исследования (ива – на фоновом участке, шиповник – в районе «Автостанция 10-й км» и полынь – в районе «Госпиталь»). На фоновом участке концентрация меди в исследуемых растениях была достаточно высокой в сравнении с другими районами города. Аналогичная

ситуация наблюдалась в 2017 г. Кроме того, выявлено, что в районах «Госпиталь», «Стадион “Спартак”», «Автостанция 10-й км» и на фоновом участке содержание меди в листьях *Artemisia* превышало оптимальный для обеспечения жизнедеятельности растений уровень (рис. 2; табл. 1).

**Цинк.** Летом 2017 г. наибольшее содержание цинка в листьях исследованных растений было выявлено в районе «Автостанция 10-й км», наименьшее – на участке «Стадион “Спартак”» (рис. 3, 1). Концентрация этого металла во всех видах фонового участка, за исключением ивы, была ниже, чем в аналогичных пробах растений других районов исследования. Представители *Salix* характеризуются наибольшей степенью аккумуляции цинка. Его концентрация в пробах всех районов, кроме участка «Краевая библиотека», соответствовала токсической для растений. Содержание цинка в листьях других видов из всех районов исследования идентично нормальному уровню. Концентрация этого металла у представителей *Salix* из городской среды уменьшалась в следующей последовательности: «Автостанция 10-й км» > «Стадион “Спартак”» > «Ботанический переулок» > «Госпиталь» > «Краевая библиотека» (рис. 3, 1; табл. 2).

В летний период 2018 г. во всех растительных пробах фонового участка содержание цинка было ниже, чем в аналогичных пробах из других районов. Наибольшее содержание металла в листьях исследованных видов, как и в 2017 г., выявлено в районе «Автостанция 10-й км». На данной территории значение цинка у представителей древесного яруса – *Salix* и *Betula*, составляло 246,1 и 203,7 мг/кг соответственно и являлось токсической концентрацией для растений. Однако в том же районе в листьях шиповника концентрация цинка соответствовала оптимальному уровню – 31,5 мг/кг (рис. 3, 2; табл. 2).

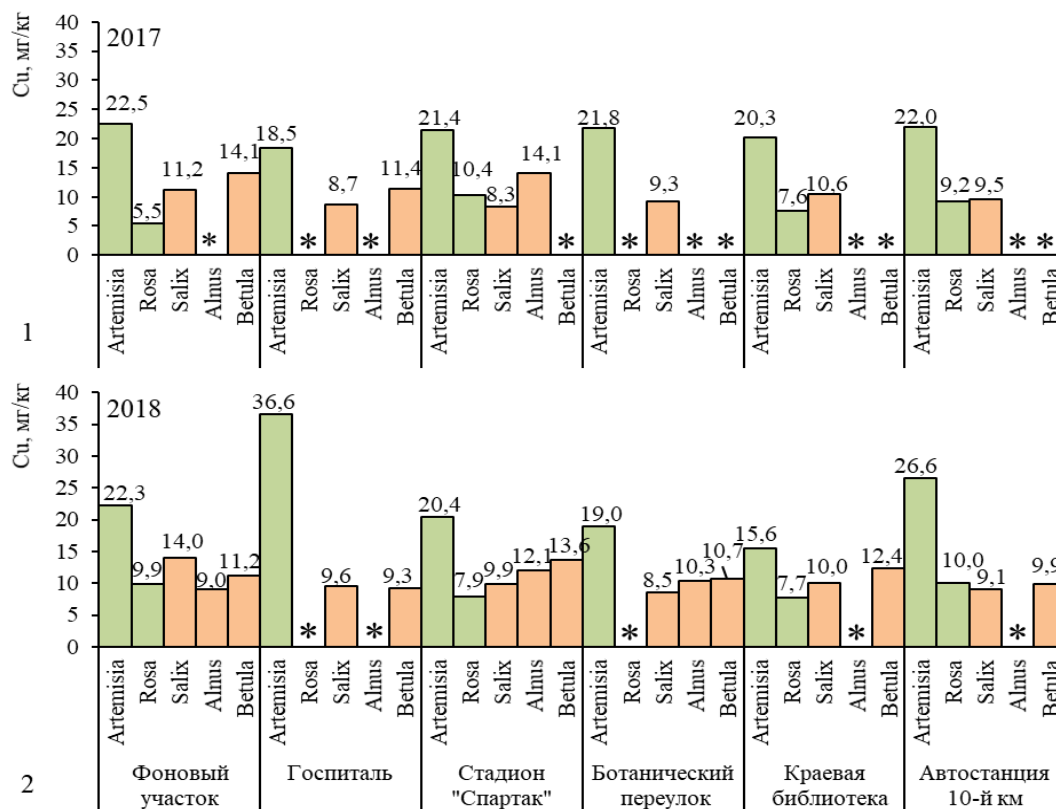


Рис. 2. Содержание меди в листьях растений, собранных в исследованных районах г. Петропавловска-Камчатского в летний период 2017 г. (1) и 2018 г. (2). Травянисто-кустарниковый ярус выделен зеленой заливкой ячейки, древесный – оранжевой заливкой. «\*» – растения данного вида не произрастали в исследуемом районе

Fig. 2. Copper contents of plant samples in Petropavlovsk-Kamchatsky in the summer season of 2017 (1) and 2018 (2). The herbaceous-shrub layer highlighted by green cell fill, and the woody layer highlighted by orange cell fill. Asterisks “\*” – indicate that species of plants did not grow in the study area

Таблица 1. Уровни содержания и ряды накопления меди в растениях исследованных районов г. Петропавловска-Камчатского

Table 1. Ranges of concentrations (mg/kg) and accumulation sequences of copper in plants of the studied areas of Petropavlovsk-Kamchatsky

Вид	Уровни содержания меди, мг/кг		Ряд уменьшения содержания меди в растениях исследуемых районов
<i>Artemisia vulgaris</i>	2017	18,5–22,0	Автостанция 10-й км > Ботанический переулок > Стадион «Спартак» > Краевая библиотека > Госпиталь
	2018	15,6–36,6	Госпиталь > Автостанция 10-й км > Стадион «Спартак» > Ботанический переулок > Краевая библиотека
<i>Rosa amblyotis</i>	2017	7,6–10,4	Стадион «Спартак» > Автостанция 10-й км > Краевая библиотека
	2018	7,7–10,0	Автостанция 10-й км > Стадион «Спартак» > Краевая библиотека
<i>Salix udensis</i>	2017	8,3–10,6	Краевая библиотека > Автостанция 10-й км > Ботанический переулок > Госпиталь > Стадион «Спартак»
	2018	8,5–10,0	Краевая библиотека > Стадион «Спартак» > Госпиталь > Автостанция 10-й км > Ботанический переулок
<i>Alnus hirsuta</i>	2017	14,1	Стадион «Спартак»
	2018	10,3–12,1	Стадион «Спартак» > Ботанический переулок
<i>Betula ermanii</i>	2017	11,4	Госпиталь
	2018	9,3–13,6	Стадион «Спартак» > Краевая библиотека > Ботанический переулок > Автостанция 10-й км > Госпиталь

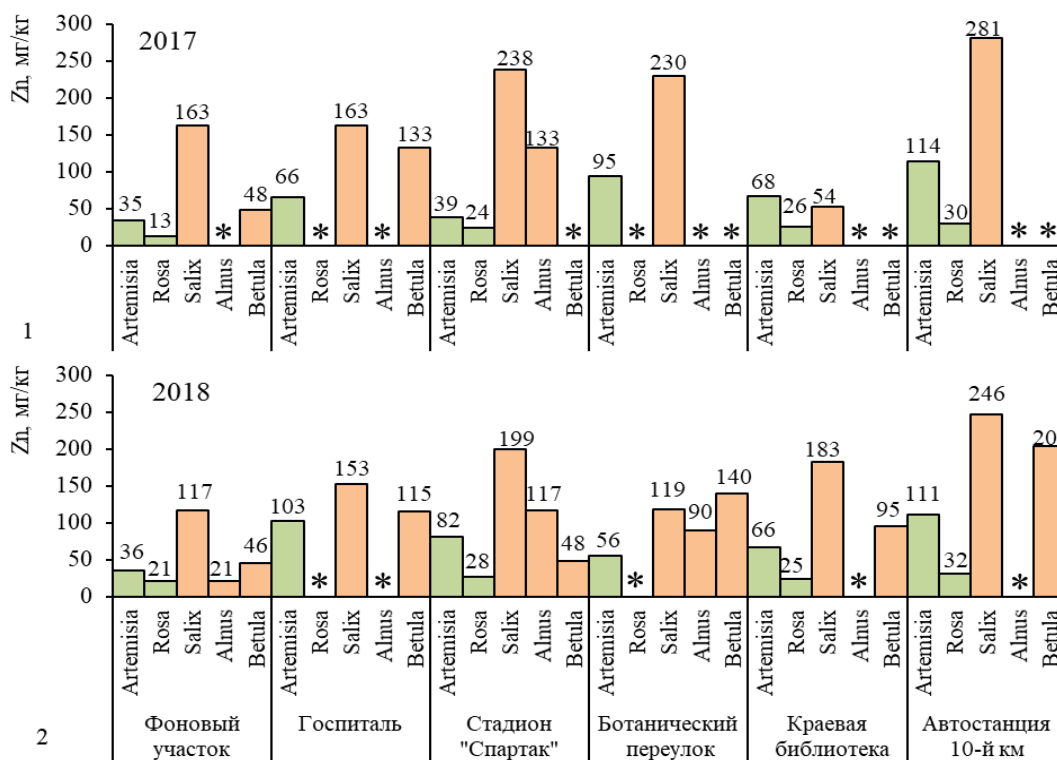


Рис. 3. Содержание цинка в листьях растений, собранных в исследованных районах г. Петропавловска-Камчатского в летний период 2017 г. (1) и 2018 г. (2). Травянисто-кустарниковый ярус выделен зеленой заливкой ячейки, древесный – оранжевой заливкой. «\*» – растения данного вида не произрастали в исследуемом районе

Fig. 3. Zinc contents of plant samples in Petropavlovsk-Kamchatsky in the summer season of 2017 (1) and 2018 (2). The herbaceous-shrub layer highlighted by green cell fill, and the woody layer highlighted by orange cell fill. Asterisks “\*” – indicate that species of plants did not grow in the study area

Таблица 2. Уровни содержания и ряды накопления цинка в растениях исследованных районов г. Петропавловска-Камчатского

Table 2. Ranges of concentrations (mg/kg) and accumulation sequences of zinc in plants of the studied areas of Petropavlovsk-Kamchatsky

Вид	Уровни содержания цинка, мг/кг		Ряд уменьшения содержания цинка в растениях исследуемых районов
<i>Artemisia vulgaris</i>	2017	38,5–114,2	Автостанция 10-й км > Ботанический переулоч > Краевая библиотека > Госпиталь > Стадион «Спартак»
	2018	55,5–111	Автостанция 10-й км > Госпиталь > Стадион «Спартак» > Краевая библиотека > Ботанический переулоч
<i>Rosa amblyotis</i>	2017	24,4–30,1	Автостанция 10-й км > Краевая библиотека > Стадион «Спартак»
	2018	24,5–31,5	Автостанция 10-й км > Стадион «Спартак» > Краевая библиотека
<i>Salix udensis</i>	2017	53,7–281,3	Автостанция 10-й км > Стадион «Спартак» > Ботанический переулоч > Госпиталь > Краевая библиотека
	2018	118,7–246,1	Автостанция 10-й км > Стадион «Спартак» > Краевая библиотека > Госпиталь > Ботанический переулоч
<i>Alnus hirsuta</i>	2017	133,15	Стадион «Спартак»
	2018	90–116,6	Стадион «Спартак» > Ботанический переулоч
<i>Betula ermanii</i>	2017	132,6	Госпиталь
	2018	48–203,7	Автостанция 10-й км > Ботанический переулоч > Госпиталь > Краевая библиотека > «Стадион Спартак»

Свинец. В 2017 г. диапазон содержания свинца в растительных образцах изменялся от 0,3 до 3,0 мг/кг (рис. 4, 1). Разница между его концентрациями у разных видов невелика, однако наибольшая была выявлена у полыни, наименьшая – у ольхи. В районе «Госпиталь» обнаружено наибольшее содержание свинца в образцах *A. vulgaris kamtschatica* и *B. ermanii*. Максимальные значения концентрации свинца у видов *R. amblyotis* и *S. udensis* зарегистрированы в районах «Автостанция 10-й км» и «Краевая библиотека» соответственно. Следует отметить, что в городской среде его содержание у растений одного и того же вида отличается незначительно (рис. 4, 1; табл. 3).

В 2018 г. содержание свинца в исследованных пробах растений варьировало от 1,2 до 3,8 мг/кг (рис. 4, 2; табл. 3). Наименьшая и наибольшая концентрация определены в листьях ивы, собранной в разных районах: «Автостанция 10-й км» и «Стадион “Спартак”». *R. amblyotis* и *A. vulgaris* с наибольшей концентрацией свинца произрастали на участке «Автостанция 10-й км». В целом для двух сезонов исследования разница в содержании свинца незначительна. Его концентрация во всех образцах не являлась токсичной (рис. 4, 2; табл. 3).

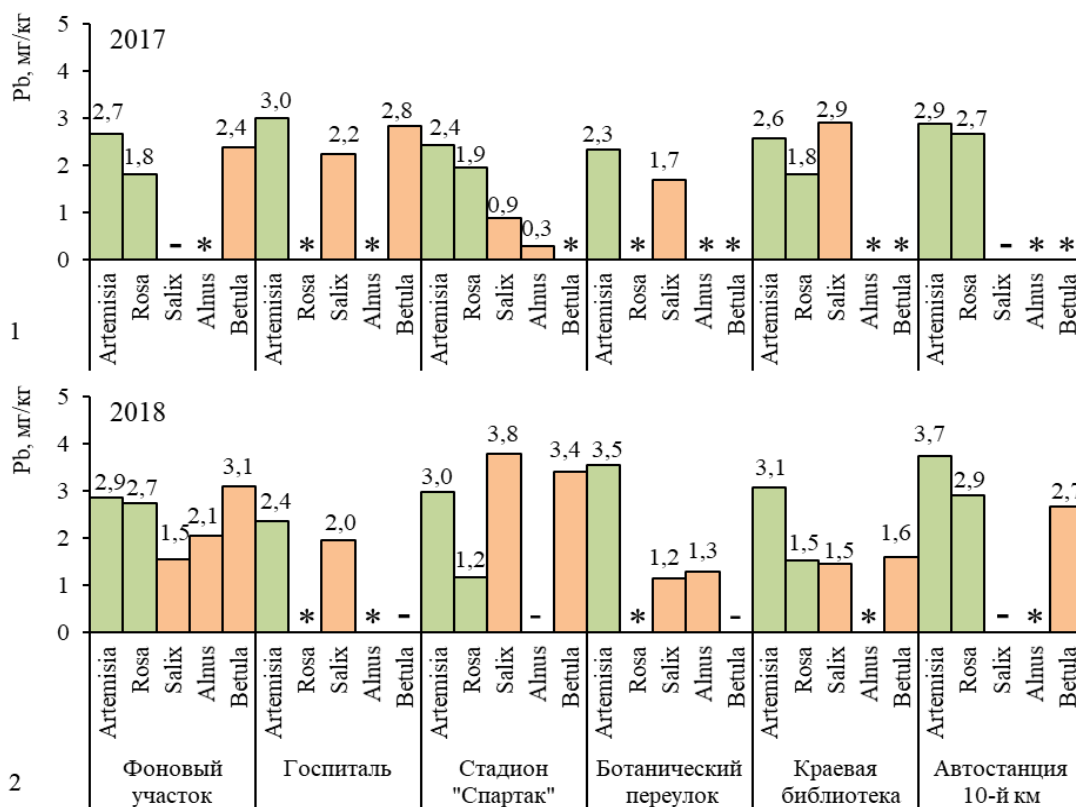


Рис. 4. Содержание свинца в листьях растений, собранных в исследованных районах г. Петропавловска-Камчатского в летний период 2017 г. (1) и 2018 г. (2). Травянисто-кустарниковый ярус выделен зеленой заливкой ячейки, древесный – оранжевой заливкой. «\*» – растения данного вида не произрастали в исследуемом районе. «—» – содержание ниже 0,01 мг/кг

Fig. 4. Lead contents of plant samples in Petropavlovsk-Kamchatsky in the summer season of 2017 (1) and 2018 (2). The herbaceous-shrub layer highlighted by green cell fill, and the woody layer highlighted by orange cell fill. Asterisks “\*” indicate that species of plants did not grow in the study area. Dashes “—” indicate that metal contents below 0,01 mg/kg



Таблица 3. Уровни содержания и ряды накопления свинца в растениях исследованных районов г. Петропавловска-Камчатского

Table 3. Ranges of concentrations (mg/kg) and accumulation sequences of lead in plants of the studied areas of Petropavlovsk-Kamchatsky

Вид	Уровни содержания свинца, мг/кг		Ряд уменьшения содержания свинца в растениях исследуемых районов
<i>Artemisia vulgaris</i>	2017	2,3–3,0	Госпиталь > Автостанция 10-й км > Краевая библиотека > Стадион «Спартак» > Ботанический переулок
	2018	2,4–3,7	Автостанция 10-й км > Ботанический переулок > Краевая библиотека > Стадион «Спартак» > Госпиталь
<i>Rosa amblyotis</i>	2017	1,8–2,7	Автостанция 10-й км > Стадион «Спартак» > Краевая библиотека
	2018	1,2–2,9	Автостанция 10-й км > Краевая библиотека > Стадион «Спартак»
<i>Salix udensis</i>	2017	0,9–2,9	Краевая библиотека > Госпиталь > Ботанический переулок > Стадион «Спартак»
	2018	1,2–3,8	Стадион «Спартак» > Госпиталь > Краевая библиотека > Ботанический переулок
<i>Alnus hirsuta</i>	2017	0,3	Стадион «Спартак»
	2018	1,3	Ботанический переулок
<i>Betula ermanii</i>	2017	2,83	Госпиталь
	2018	1,59–3,40	Стадион «Спартак» > Автостанция 10-й км > Краевая библиотека

*Кадмий*. В летний период 2017 г. в пробах исследованных растений содержание кадмия изменялось в диапазоне от 0,2 до 2,7 мг/кг (рис. 5, 1), при этом наименьшая концентрация была определена в листьях шиповника из района «Стадион «Спартак»», а наибольшая – в листьях ивы из участка «Госпиталь». В пробах растений из фонового участка содержание кадмия было сопоставимым с таковыми из городской среды. Район с наибольшим содержанием этого металла в растениях выделить сложно. Так, наибольшая концентрация кадмия в листьях *A. vulgaris kamtschatica* выявлена в районе «Ботанический переулок», в листьях *Rosa* – на участке «Краевая библиотека» и в листьях *Salix* – территория района «Госпиталь». Возможно, это связано с физиологическими особенностями исследованных растений, а также с локальными особенностями исследованных районов. Отметим, что в городе Петропавловске-Камчатском концентрация металла в растениях более 1 мг/кг была обнаружена в листьях полыни на участках «Госпиталь»,

«Ботанический переулок» и «Автостанция 10-й км». В пробах ивы такое превышение выявлено на всех участках, кроме участка «Краевая библиотека» (рис. 5, 1; табл. 4).

Летом 2018 г. концентрация кадмия в листьях растений изменялась в диапазоне от 0,1 до 3,6 мг/кг (рис. 5, 2), при этом наименьшая концентрация была определена в образцах *B. ermanii* из района «Ботанический переулок», наибольшая – в образцах *S. udensis* с того же участка (табл. 4).

## ОБСУЖДЕНИЕ

Для территории Камчатского края характерна высокая концентрация меди в почве [Захарихина, Литвиненко, 2019а; 2019б], что, вероятно, влияет на концентрацию этого элемента в растениях фоновой зоны, в других же урбанизированных районах исследования возможна ситуация с созданием барьеров другими загрязнителями-антагонистами, что затрудняет поступление меди в растительный покров.

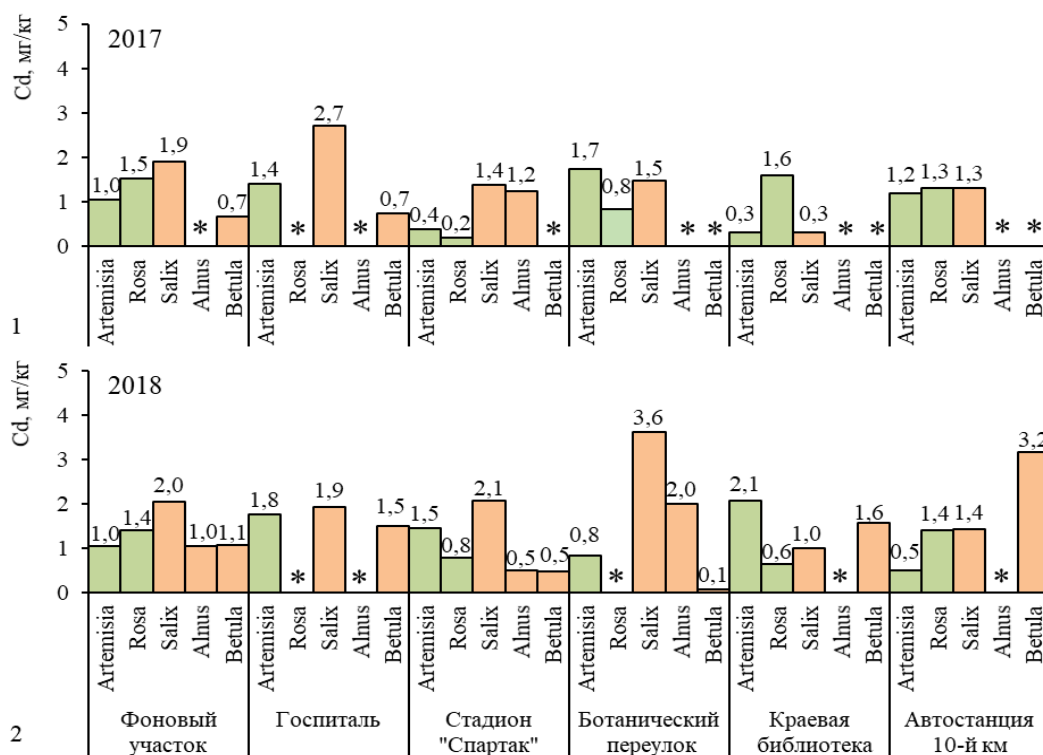


Рис. 5. Содержание кадмия в листьях растений, собранных в исследованных районах г. Петропавловска-Камчатского в летний период 2017 г. (1) и 2018 г. (2). Травянисто-кустарниковый ярус выделен зеленой заливкой ячейки, древесный – оранжевой заливкой. «\*» – растения данного вида не произрастали в исследуемом районе

Fig. 5. Cadmium contents of plant samples in Petropavlovsk-Kamchatsky in the summer season of 2017 (1) and 2018 (2). The herbaceous-shrub layer highlighted by green cell fill, and the woody layer highlighted by orange cell fill. Asterisks “\*” – indicate that species of plants did not grow in the study area

Таблица 4. Уровни содержания и ряды накопления кадмия в растениях исследованных районов г. Петропавловска-Камчатского

Table 4. Ranges of concentrations (mg/kg) and accumulation sequences of cadmium in plants of the studied areas of Petropavlovsk-Kamchatsky

Вид	Уровни содержания кадмия, мг/кг		Ряд уменьшения содержания кадмия в растениях исследуемых районов
<i>Artemisia vulgaris</i>	2017	0,3–1,7	Ботанический переулоч > Госпиталь > Автостанция 10-й км > Стадион «Спартак» > Краевая библиотека
	2018	0,5–2,1	Краевая библиотека > Госпиталь > Стадион «Спартак» > Ботанический переулоч > Автостанция 10-й км
<i>Rosa amblyotis</i>	2017	0,2–1,6	Краевая библиотека > Автостанция 10-й км > Стадион «Спартак»
	2018	0,6–1,4	Автостанция 10-й км > Стадион «Спартак» > Краевая библиотека
<i>Salix udensis</i>	2017	0,3–2,7	Госпиталь > Ботанический переулоч > Стадион «Спартак» > Автостанция 10-й км > Краевая библиотека
	2018	0,99–3,6	Ботанический переулоч > Стадион «Спартак» > Госпиталь > Автостанция 10-й км > Краевая библиотека
<i>Alnus hirsuta</i>	2017	1,2	Стадион «Спартак»
	2018	0,5–2,0	Ботанический переулоч > Стадион «Спартак»
<i>Betula ermanii</i>	2017	0,7	Госпиталь
	2018	0,1–3,2	Автостанция 10-й км > Краевая библиотека > Госпиталь > Стадион «Спартак» > Ботанический переулоч

Содержание цинка у представителей ивы, ольхи и березы выше, чем у растений травянисто-кустарникового яруса во всех исследованных районах. Наиболее высокой степенью его биоаккумуляции отличались представители рода *Salix*. Во всех районах города концентрация цинка в пробах ивы изменялась в пределах 53,7–246,14 мг/кг и в большинстве случаев соответствовала токсической (табл. 2). Максимальный показатель этого металла выявлен для растений, собранных в районе «Автостанция 10-й км», наименьший – для района «Ботанический переулок». Во всех пробах листьев ивы, собранных в городской среде, содержание цинка было выше, чем в почвах мест их произрастания [Авдощенко, Климова, 2020]. Его концентрация в листьях *Salix* уменьшалась в следующей последовательности: «Автостанция 10-й км» > «Стадион “Спартак”» > «Краевая библиотека» > «Госпиталь» > «Ботанический переулок» > фоновый участок (табл. 2). В целом показатели двух сезонов исследования схожи: практически во всех случаях в районе «Автостанция 10-й км» наблюдалась наибольшая концентрация цинка в пробах растений. Ива может быть использована в качестве биоиндикатора цинкового загрязнения, поскольку активно его накапливает в токсических концентрациях (рис. 3; табл. 2).

Согласно нашим исследованиям, валовое содержание свинца в почвах г. Петропавловска-Камчатского в летний период 2017–2018 гг. превышало 8 мг/кг [Авдощенко, Климова, 2020], что существенно выше, чем выявлено в растениях. Следует отметить, что большая часть видов может относиться к растениям-исключателям, т. е. содержание свинца в побеге может быть намного ниже, чем в почве и атмосферном воздухе [Шихова, 2012].

Значения концентрации кадмия в растениях одного и того же вида за весь период

исследования весьма изменчивы (табл. 4). В то же время в почвенном покрове г. Петропавловска-Камчатского в аналогичный период и в тех же районах кадмий был выявлен в следовых количествах [Авдощенко, Климова, 2020]. Вероятно, это связано с аэральным поступлением металла в растительный покров и активным его накоплением некоторыми видами растений.

Тяжелые металлы в разной степени аккумулируются растениями. По результатам исследования, для древесного и травянисто-кустарникового ярусов можно выделить растения-индикаторы, которые в наибольшей степени среди других исследованных растений накапливают определенные металлы. Так, было выявлено, что *Salix* и *Artemisia* могут выступать биоиндикаторами цинкового загрязнения окружающей среды. В наибольшей степени накапливали кадмий *S. udensis* и *A. vulgaris kamtschatica*, в других растениях его концентрация изменялась незначительно. Медь и свинец в наиболее высоких концентрациях среди других растений содержались в *B. ermanii*, *S. udensis* и *A. vulgaris kamtschatica*. Таким образом, в качестве индикаторов содержания тяжелых металлов в среде могут быть использованы ива и полынь.

Для сравнения суммарного содержания металлов в листьях исследуемых растений были использованы данные о валовом содержании ТМ в вейнике Лангсдорфа (*Calamagrostis langsdorffii*), произраставшем вне городской среды [Захарихина, Литвиненко, 2019б]. Суммарные показатели содержания тяжелых металлов в растениях фонового участка и всех районов урбанизированной территории представлены на рисунке 6. У представителей травянисто-кустарникового яруса общее содержание металлов (Zn, Cu, Pb и Cd) ниже, чем у видов древесных пород. Максимальное

значение суммарного содержания ТМ было выявлено в иве, собранной в фоновой и городской зонах. В наибольшей степени растениями накапливался цинк. Ряд уменьшения суммарного содержания тяжелых металлов в растениях фоновой участка имеет следующий вид: *Salix* > *Betula* > *Alnus* > *Artemisia* > *Rosa*. Аналогичный ряд для городской среды: *Salix* > *Betula* > *Artemisia* > *Alnus* > *Rosa* (рис. 6).

В работах разных авторов информация о способности некоторых видов поглощать или накапливать ТМ различается. Так, различные виды березы проявляют специфическую реакцию на присутствие металлов в окружающей среде. Береза бородавчатая (*Betula verrucosa*) обладает низкой металлоаккумулирующей способностью и де-

концентрирует ТМ ниже фонового уровня [Неверова, Позняковский, 2005]. Согласно исследованиям И.Я. Григорьевой [2015], береза повислая (*B. pendula*) является индикатором загрязнения среды цинком. Однако по другим данным этот вид наименее устойчив к высокому загрязнению цинком и активно концентрирует медь [Ларионов, 2014]. Также *B. pendula* отмечается как устойчивая к промышленным загрязнениям [Franiel, Vabczynska, 2011]. Исследования листьев березы повислой и березы пушистой (*B. pubescens*) показали, что эти виды обладают значительной способностью к аккумуляции тяжелых металлов, особенно наиболее токсичных, таких как кадмий, свинец и никель [Ветчинникова и др., 2013].

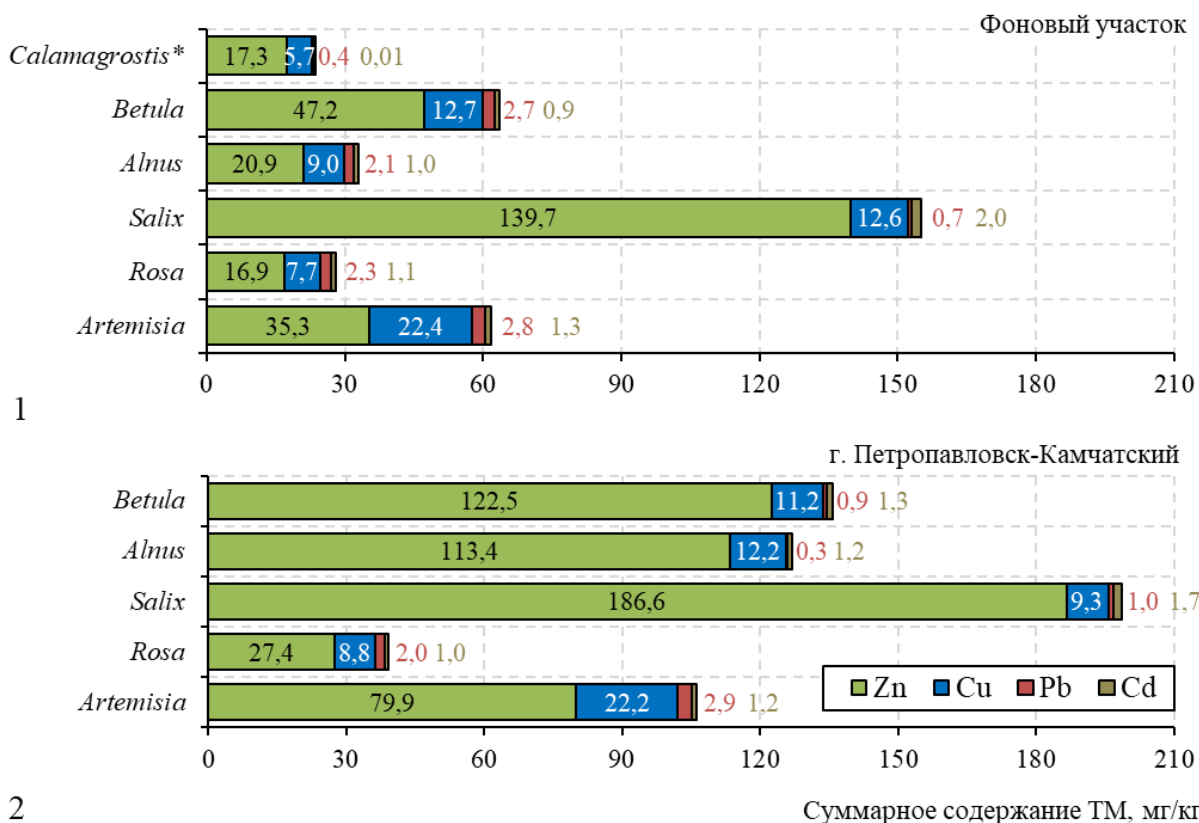


Рис. 6. Суммарное содержание тяжелых металлов в растениях г. Петропавловска-Камчатского и фонового участка в 2017–2018 гг. «\*» – усредненное содержание элементов в надземной части вейника Лангсдорфа для юго-восточной Камчатки [Захарихина, Литвиненко, 2019б]

Fig. 6. Total heavy metal contents in plant samples of Petropavlovsk-Kamchatsky and background environmental conditions in 2017-2018. Asterisks “\*” – indicate averaged content of elements in the aboveground part of *Calamagrostis langsdorffii* for southeastern Kamchatka [Zakharikhina, Litvinenko, 2019b]

Среди других представителей древесного яруса непальская ольха (*Alnus nepalensis*) является накопителем высоких концентраций Zn, Pb и Cd [Jing et al., 2014]. Ольха серая (*A. incana*), напротив, может выступать как исключитель Zn, Cd и Cu [Mertens et al., 2004]. Ива пурпурная (*S. purpurea*) является гипераккумулятором тяжелых металлов [Mleczeck et al., 2009].

К числу видов-индикаторов из травянисто-кустарникового яруса относят полынь австрийскую (*Artemisia austriaca*), отличающуюся наиболее высокой способностью к концентрации Cu, Zn и Mn [Сомов, 2018]. Полынь горькая (*A. absinthium*) в условиях антропогенного влияния накапливает повышенное количество ТМ, превышающее ПДК [Кудряшова, 2003]. Полынь полевая (*A. campestris*) имеет высокую аккумулялирующую способность в отношении Al, As, Cr, Ni, Pb, Sr, а полынь метельчатая (*A. scoparia*) – Al, As, Pb, V.

Плоды шиповника майского (*Rosa majalis*) способны накапливать Pb, Cd и Co выше предельно допустимых концентраций [Русанов, Турлибекова, 2011]. *R. rugosa* является видом, активно накапливающим цинк [Масленников и др., 2015]. Приведенные примеры наглядно демонстрируют видоспецифичность в накоплении ТМ у представителей одних и тех же родов. Поэтому при выборе видов растений для фитоиндикации металлического загрязнения в первую очередь необходимо тщательно изучить их индивидуальные особенности аккумуляции загрязнителей в районе исследования.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Содержание тяжелых металлов (Zn, Cu, Pb и Cd) в травянистых и древесных растениях Петропавловска-Камчатского городского округа зависит от экологических фак-

торов мест их произрастания. У некоторых исследованных видов показатели содержания металлов фонового участка превышали значения городской среды, что, вероятно, отражает геохимическую специализацию этого района и наличие антагонизма в их поглощении в условиях загрязнения. Для дифференциации различных районов города по содержанию ТМ целесообразно использовать виды растений *Salix udensis* и *Artemisia vulgaris kamtschatica*. Максимальное суммарное содержание металлов в видах-индикаторах за весь период исследования выявлено в районе «Автостанция 10 км». В целом в 2018 г. загрязнение растительного покрова г. Петропавловска-Камчатского токсичными металлами (Pb и Cd) по сравнению с предшествующим годом возросло.

## ЛИТЕРАТУРА

- Авдошенко В.Г., Климова А.В. 2020. Содержание тяжелых металлов в почвах Петропавловска-Камчатского (Камчатский край) в 2017–2018 гг. *Вестник Камчатского государственного технического университета*. № 52. С. 50–63.
- Алексеев Ю.В. 1987. Тяжелые металлы в почвах и растениях. Ленинград: Агропромиздат. 142 с.
- Ветчинникова Л.В., Кузнецова Т.Ю., Титов А.Ф. 2013. Особенности накопления тяжелых металлов в листьях древесных растений на урбанизированных территориях в условиях севера. *Труды Карельского научного центра РАН. Серия Экспериментальная биология*. № 3. С. 68–73.
- Войтюк Е.А. 2011. Аккумуляция тяжелых металлов в почве и растениях в условиях городской среды (на примере г. Чита). *Диссертация ... канд. биолог. наук*. Чита. 140 с.

- Григорьева И.Я. 2015. Изучение биоиндикационных свойств древесных растений на тяжелые металлы. *Инновационная наука*. Т. 3. № 4. С. 26–29.
- Захарихина Л.В., Литвиненко Ю.С. 2019а. Вулканизм и геохимия почвенно-растительного покрова Камчатки. Специфика формирования элементного состава вулканических почв в холодных гумидных условиях. *Вулканология и сейсмология*. № 3. С. 25–33.
- Захарихина Л.В., Литвиненко Ю.С. 2019б. Вулканизм и геохимия почвенно-растительного покрова Камчатки. Элементный состав растительности вулканических экосистем. *Вулканология и сейсмология*. № 4. С. 40–51.
- Ильин В.Б. 1991. Тяжелые металлы в системе почва – растение. Новосибирск: Наука. 151 с.
- Ильин В.Б., Сысо А.И. 2001. Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах и растениях Новосибирской области. Новосибирск: Издательство СО РАН. 229 с.
- Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. 1989. Микроэлементы в почвах и растениях. Москва: Мир. 439 с.
- Коновалова О.Н. 2018. Формы нахождения тяжелых металлов в почвенно-растительном покрове г. Архангельска. *Диссертация ... канд. хим. наук*. Архангельск. 202 с.
- Кудряшова В.И. 2003. Аккумуляция тяжелых металлов дикорастущими растениями. *Автореферат диссертации ... канд. биол. наук*. Саранск. 19 с.
- Ларионов М.В. 2014. Накопление древесными растениями тяжелых металлов в зависимости от автотранспортной нагрузки. *Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского*. № 4 (1). С. 228–232.
- Лукина Н.В., Никонов В.В. 1993. Поглощение аэротехногенных загрязнителей растениями сосняков на северо-западе Кольского полуострова. *Лесоведение*. № 6. С. 34–41.
- Масленников П.В., Дедков В.П., Куркина М.В. и др. 2015. Аккумуляция металлов в растениях урбоэкосистем. *Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Серия: Естественные и медицинские науки*. № 7. С. 57–69.
- Медведев И.Ф., Деревягин С.С. 2017. Тяжелые металлы в экосистемах. Саратов: Ракурс. 178 с.
- Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. 1992. Москва: ЦИНАО. 57 с.
- Неверова О.А., Позняковский В.М. 2005. Фитоиндикация загрязнения городской среды тяжелыми металлами (на примере г. Кемерово). *Лесной журнал*. № 4. С. 92–95.
- Панин М.С. 1999. Аккумуляция тяжелых металлов растениями Семипалатинского Прииртышья. Семипалатинск: ГУ «Семей». 308 с.
- Русанов А.М., Турлибекова Д.М. 2011. Тяжелые металлы в плодах шиповника парков города Орска. *Вестник Оренбургского государственного университета*. № 12 (131). С. 299–300.
- Серегина И.И. 2017. Цинк, селен и регуляторы роста в агроценозе. Москва: ООО «Перспект». 208 с.
- Сомов В.В. 2018. Миграция и аккумуляция тяжелых металлов в природных и антропогенно преобразованных ландшафтах башкирского Зауралья. *Автореферат диссертации ... канд. геогр. наук*. Санкт-Петербург. 131 с.
- Шихова Н.С. 2012. Некоторые закономерности в накоплении свинца растениями в условиях урбанизации (на примере г. Владивостока). *Сибирский экологический журнал*. № 2. С. 285–294.

- Эвембе Д. 2002. Изучение транслокации тяжелых металлов и приемов их детоксикации в черноземной и дерново-подзолистой почвах. *Диссертация ... канд. сельск.-хоз. наук.* Москва. 103 с.
- Davydova S. 2005. Heavy metals as toxicants in big cities. *Microchemical Journal*. Vol. 79. P. 133–136.
- Franiel I., Badczynska A. 2011. The growth and reproductive effort of *Betula pendula* Roth in a heavy-metals polluted area. *Polish Journal of Environmental Studies*. № 20 (4). P. 1097–1101.
- Jing Y., Cui H., Li T., Zhao Z. 2014. Heavy metal accumulation characteristics of Nepalese alder (*Alnus nepalensis*) growing in a lead-zinc spoil heap, Yunnan, Southwestern China. *IForest*. № 7 (4). P. 204–208.
- Mertens J., Vervaeke P., De Schrijver A., Luysaert S. 2004. Metal uptake by young trees from dredged brackish sediment: limitations and possibilities for phytoextraction and phytostabilisation. *Science of the Total Environment*. Vol. 326. P. 209–215.
- Mleczek M., Rissmann I., Rutkowski P., Kaczmarek Z., Golinski P. 2009. Accumulation of selected heavy metals by different genotypes of *Salix*. *Environmental and Experimental Botany*. Vol. 66 (2). P. 289–296.
- Sharma V., Singh P. 2015. Heavy metals pollution and its effects on environment and human health. *International Journal of Recent Scientific Research*. Vol. 6, issue 12. P. 7752–7755.
- REFERENCES**
- Авдощенко В.Г., Климова А.В. 2020. Contents of heavy metals in the soils of Petropavlovsk-Kamchatsky (Kamchatka territory) in 2017–2018. *Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (Bulletin of Kamchatka State Technical University)*. № 52. P. 50–63. (DOI: 10.17217/2079-0333-2020-52-50-63).
- Alekseev Yu.V. 1987. Heavy metals in soils and plants. Leningrad: Agropromizdat. 142 p.
- Vetchinnikova L.V., Kuznetsova T.Yu., Titov A.F. 2013. Patterns of heavy metal accumulation in leaves of trees in urban areas in the north. *Trudy Karel'skogo nauchnogo centra RAN. Seriya Jeksperimental'naja biologija. Trudy Karel'skogo nauchnogo centra RAN. Seriya Jeksperimental'naja biologija (Transactions of Karelian Research Centre of Russian Academy of Science. № 3. Experimental Biology)*. № 3. P. 68–73.
- Vojtyuk E.A. 2011. Accumulation of heavy metals in soil and plants in an urban environment (Chita). *Candidacy dissertation for biological sciences*. Chita. 140 p.
- Grigoreva I.Ya. 2015. Study of the bioindication properties of woody plants for heavy metals. *Innovacionnaja nauka (Innovative Science)*. Vol. 3. № 4. P. 26–29.
- Zakharikhina L.V., Litvinenko Yu.S. 2019a. Volcanism and geochemistry of soil and vegetation cover of Kamchatka. Communication 2. Specificity of forming the elemental composition of volcanic soil in cold and humid conditions. *Vulkanologia i seismologia (Journal of Volcanology and Seismology)*. № 3. P. 25–33.
- Zakharikhina L.V., Litvinenko Yu.S. 2019b. Volcanism and geochemistry of soil and vegetation cover of Kamchatka. Communication 3. Elemental composition of vegetation of volcanic ecosystems. *Vulkanologia i seismologia (Journal of Volcanology and Seismology)*. № 4. P. 40–51.
- Ilyin V.B. 1991. Heavy metals in the system “soil-plants”. Novosibirsk: Nauka. 151 p.

- Ilyin V.B., Syso A.I. 2001. Trace elements and heavy metals in soils and plants of the Novosibirsk region. Novosibirsk: Publisher SB RAS. 229 p.
- Kabata-Pendias A., Pendias H. 1989. Microelements in soils and plants. Moscow: Mir. 439 p.
- Konovalova O.N. 2018. Forms of finding heavy metals in the soil and vegetation cover of Arkhangelsk. *Candidacy dissertation for chemical sciences*. Arkhangelsk. 202 p.
- Kudriashova V.I. 2003. Accumulation of heavy metals by wild plants. *Abstract of candidacy dissertation for biological sciences*. Saransk. 19 p.
- Larionov M.V. 2014. Accumulation of heavy metals in woody plants as dependent on motor transport load. *Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N.I. Lobachevskogo (Vestnik of Lobachevsky University of Nizhni Novgorod)*. № 4 (1). P. 228–232.
- Lukina N.V., Nikonov V.V. 1993. Absorption of aerotechnogenic pollutants by pine plants in the North-West of the Kola Peninsula. *Lesovedeniye (Russian Journal of Forest Science)* № 6. P. 34–41.
- Maslennikov P.V., Dedkov V.P., Kurkina M.V. et al. 2015. Accumulation of metals in plants of urban ecosystems. *Vestnik Baltijskogo federal'nogo universiteta im. I. Kanta. Serija: Estestvennye i medicinskie nauk (Bulletin of Immanuel Kant Baltic Federal University)*. № 7. P. 57–69.
- Medvedev I.F., Derevyagin S.S. 2017. Heavy metals in ecosystems. Saratov: Rakurs. 178 p.
- Guidance document on the determination of heavy metals in farmland soils and crop production. 1992. Moscow: CINAO. 57 p.
- Neverova O.A., Pozniakovskij V.M. 2005. Phytoindication of urban pollution by heavy metals (on the example of Kemerovo). *Lesnoj Zhurnal (Russian Forestry Journal)*. № 4. P. 92–95.
- Panin M.S. 1999. Accumulation of heavy metals by plants of the Semipalatinsk Irtysh region. Semipalatinsk: GU “Senej”. 308 p.
- Rusanov A.M., Turlibekova D.M. 2011. Heavy metals in rose hips of the town parks of Orsk. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta (Vestnik of Orenburg State University)*. № 12 (131). P. 299–300.
- Seregina I.I. 2017. Zinc, selenium and growth regulators in agrocenosis. Moscow: OOO “Prospect”. 208 p.
- Somov V.V. 2018. Migration and accumulation of heavy metals in natural and anthropogenically transformed landscapes of the Bashkirian Transurals. *Abstract of candidacy dissertation for geographical sciences*. Saint-Petersburg. 131 p.
- Shihova N.S. 2012. Some features of lead accumulation in plants under the urban conditions (on the example of Vladivostok). *Sibirskij jeologicheskij zhurnal. (Contemporary Problems of Ecology)*. № 2. P. 285–294.
- Evembe D. 2002. Study of translocation of heavy metals and methods of their detoxification in Chernozem and sod-podzolic soils. *Candidacy dissertation for agricultural science*. Moscow. 103 p.
- Davydova S. 2005. Heavy metals as toxicants in big cities. *Microchemical Journal*. Vol. 79. P. 133–136.
- Franiel I., Badczynska A. 2011. The growth and reproductive effort of *Betula pendula* Roth in a heavy-metals polluted area. *Polish Journal of Environmental Studies*. № 20 (4). P. 1097–1101.
- Jing Y., Cui H., Li T., Zhao Z. 2014. Heavy metal accumulation characteristics of Nepalese alder (*Alnus nepalensis*) growing in a lead-zinc spoil heap, Yunnan, Southwestern China. *IForest*. № 7 (4). P. 204–208.



- Mertens J., Vervaeke P., De Schrijver A., Luysaert S. 2004. Metal uptake by young trees from dredged brackish sediment: limitations and possibilities for phytoextraction and phytostabilisation. *Science of the Total Environment*. Vol. 326. P. 209–215.
- Mleczek M., Rissmann I., Rutkowski P., Kaczmarek Z., Golinski P. 2009. Accumulation of selected heavy metals by different genotypes of *Salix*. *Environmental and Experimental Botany*. Vol. 66 (2). P. 289–296.
- Sharma V., Singh P. 2015. Heavy metals pollution and its effects on environment and human health. *International Journal of Recent Scientific Research*. Vol. 6, issue 12. P. 7752–7755.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Авдошенко Виктория Геннадьевна** – Камчатский государственный технический университет; 683003, Россия, Петропавловск-Камчатский; заведующий отделом подготовки кадров высшей квалификации; vikaav91@mail.ru. SPIN-код: 2784-7863; Author ID: 926402.

**Avdoshchenko Viktoria Gennadeevna** – Kamchatka State Technical University; 683003, Russia, Petropavlovsk-Kamchatsky; Head of the Department of training of highly qualified personnel; vikaav91@mail.ru. SPIN-code: 2784-7863; Author ID: 926402.

**Климова Анна Валерьевна** – Камчатский государственный технический университет; 683003, Россия, Петропавловск-Камчатский; кандидат биологических наук; заведующий сектором коллективного использования научного оборудования; annaklimovae@mail.ru. SPIN-код: 3188-5428; Author ID: 732623; Scopus ID: 56711736100.

**Klimova Anna Valereevna** – Kamchatka State Technical University; 683003, Russia, Petropavlovsk-Kamchatsky; Candidate of Biological Sciences; Head of the Center for Collective Use of Scientific Equipment; annaklimovae@mail.ru. SPIN-code: 3188-5428; Author ID: 732623; Scopus ID: 56711736100.