

**ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА ГОРОДА
ПЕТРОПАВЛОВСКА-КАМЧАТСКОГО (КАМЧАТСКИЙ КРАЙ)
ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ В 2017–2020 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 *Artemisia vulgaris kamtschatica*, *Betula ermanii*, *Calamagrostis canadensis*, *Salix udensis*, собранных в г. Петропавловске-Камчатском в летний период 2020 г. Для городской среды выполнен сравнительный анализ изменений уровней накопления тяжелых металлов в видах – индикаторах *A. vulgaris kamtschatica* и *S. udensis* с 2017 по 2020 гг. Выявлено, что в целом концентрация меди в растительном покрове города за весь период исследования варьировала слабо. К 2020 г. накопление цинка у представителей травянистого и древесного ярусов усилилось. Противоположная тенденция отмечена в отношении аккумуляции видами – индикаторами свинца и кадмия. Их содержание в растительном покрове города с 2017 г. по 2020 г. снизилось в два раза. Суммарное загрязнение тяжелыми металлами растений травянистого яруса в 2020 г. оценили как слабое, в предыдущие годы оно соответствовало средней степени. Аналогичная ситуация отмечена и для древесного яруса. Одним из наиболее загрязненных районов г. Петропавловска-Камчатского является участок «Автостанция 10-й км».

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

**ASSESSMENT OF HEAVY METALS POLLUTION IN THE PLANTS
OF PETROPAVLOVSK-KAMCHATSKY (KAMCHATKA TERRITORY) IN 2017–2020**

Avdoshchenko V.G., Klimova A.V.

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

In this work, we identified the content of zinc, copper, lead, and cadmium in the leaves of plants, including *Artemisia vulgaris kamtschatica*, *Betula ermanii*, *Calamagrostis canadensis* and *Salix udensis* collected from the territories of Petropavlovsk-Kamchatsky in summer 2020. Comparative analysis of changes in the accumulation levels of heavy metals in species-indicators from the urban environment, such as *A. vulgaris kamtschatica* and *S. udensis*, collected from 2017 to 2020 was provided. In general, copper content in plants from the city varied slightly over the entire investigation period. Zinc accumulation in the plants of the herbaceous and woody layers increased in 2020. The opposite trend was recorded in the accumulation of lead and cadmium for species-indicators. Their content in the vegetation cover of the city decreased by half from 2017 to 2020. In 2020, the total heavy metals pollution of plants of the herbaceous layer was assessed as weak; in previous years, it corresponded to an average degree. A similar situation was recorded for the tree layer. In Petropavlovsk-Kamchatsky, one of the most polluted sites was “Bus terminal 10 km”.

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

ВВЕДЕНИЕ

Урбанизированные территории характеризуются, как правило, загрязнением окружающей среды, при этом тяжелые металлы (ТМ) являются одной из приоритетных групп токсичных поллютантов, способных вызывать деградацию экосистем [Davydova, 2005; Duruibe et al., 2007; Chibuike, Obiora, 2014; Sharma, Singh, 2015; Коновалова, 2018]. Большая часть ТМ в окружающей среде техногенной и естественной природы неминуемо локализуется в почве. Последняя, благодаря своим биогеохимическим свойствам и значительной площади активной поверхности тонкодисперсной части, превращается в «депо» загрязнителей [Попова, 2012].

Далее из почвы ТМ ассимилируются растениями, поскольку в условиях городской среды последние активно аккумулируют различного рода загрязнители [Воскресенский, Воскресенская, 2011; Масленников и др., 2015; Nazrat et al., 2019]. Способность к накоплению ТМ у каждого вида древесных и травянистых растений различна и зависит от комплекса абиотических факторов [Серегин, Кожевникова, 2008]. В этой связи растения являются надежным индикатором присутствия ТМ в окружающей среде.

В настоящее время исследованиям состояния растительных сообществ урбоэкосистем уделяется все большее внимание, поскольку их отдельные представители успешно используются в фиторемедиации, фитоиндикации и мониторинге загрязнения различных компонентов городской среды ТМ [Stankovic et al., 2014].

Способы поступления, особенности накопления и перераспределения этих токси-

кантов в растительные организмы достаточно хорошо изучены [Ильин, 1991; Pulford et al., 2002; Tozser et al., 2017]. Во многих городах и промышленных центрах России ведутся непрерывные исследования содержания ТМ в почвах и фитоценозах, поскольку именно их состояние во многом определяет качество среды обитания и условия жизнедеятельности человека. Однако в северных районах нашей страны с активной вулканической деятельностью подобные работы до сих пор не проводились.

Исследования содержания ТМ в почвах территорий Камчатского края и произрастающих в нем растениях выполнены Л.В. Захарихиной и Ю.С. Литвиненко [2019], однако проведенные ими работы не затрагивали районы, испытывающие постоянное антропогенное воздействие.

Настоящее исследование было проведено с целью определения металлического загрязнения г. Петропавловска-Камчатского с помощью видов-индикаторов, представителей древесного и травянистого ярусов растительного покрова в период с 2017 по 2020 гг. Кроме того, в работе детально представлены уровни содержания меди, цинка, свинца и кадмия у растений исследуемых территорий в летний период 2020 г.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Сбор растительных образцов проводили в летний период 2020 г. в районах города, соответствующих участкам, на которых отбирали пробы растений и почв в 2017 и 2018 годах [Авдощенко, Климова, 2020а]. Таковыми являлись «Автостанция 10-й км», «Краевая библиотека», «Ботанический переулок», «Стадион “Спартак”», «Госпиталь» (рис. 1).

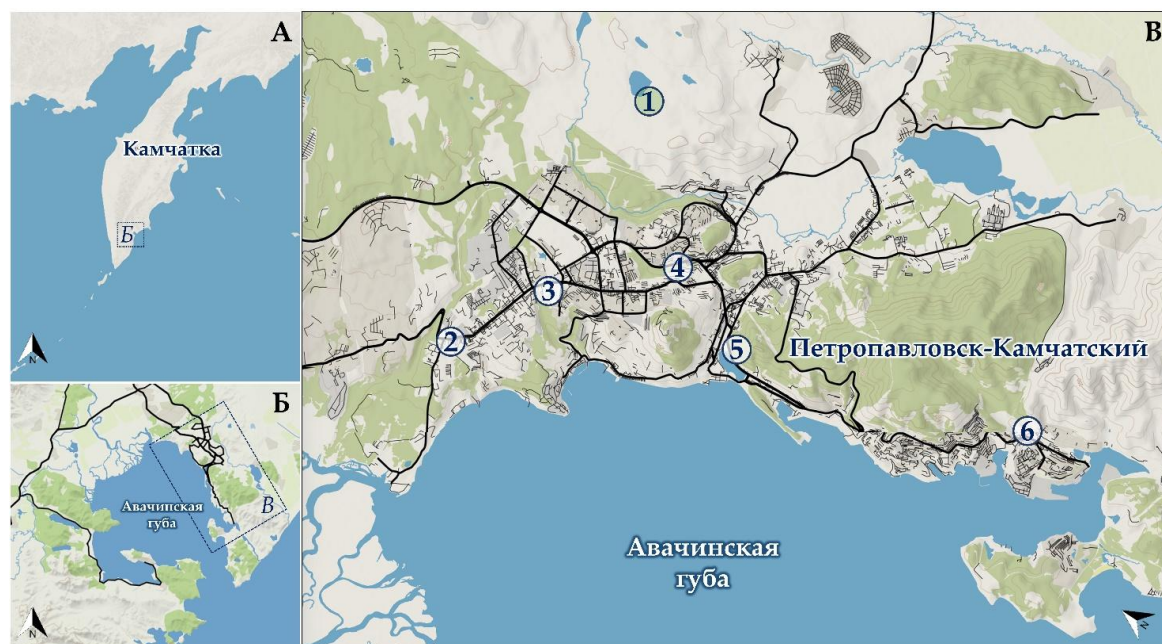


Рис. 1. Карта-схема районов отбора растительных образцов в 2020 г. А – Камчатский край; Б – городская агломерация Петропавловск-Камчатский – Елизово – Вилочинск; В – г. Петропавловск-Камчатский: 1 – фоновый участок, 2 – район «Автостанция 10-й км», 3 – район «Краевая библиотека», 4 – район «Ботанический переулок», 5 – район «Стадион “Спартак”», 6 – район «Госпиталь»

Fig. 1. Plant sampling sites in Petropavlovsk-Kamchatsky in 2020: А – Kamchatka territory; Б – urban agglomeration, including Petropavlovsk-Kamchatsky, Elizovo, and Vilyuchinsk; В – Petropavlovsk-Kamchatsky: 1 – background site, 2 – Bus terminal 10 km, 3 – Regional library, 4 – Botanic lane, 5 – Spartak Stadium, 6 – Hospital

Фоновый участок находился за пределами города, близ озера Синичкино. Для определения содержания тяжелых металлов в растениях урбозкосистемы использовали листовые пластины следующих видов: береза Эрмана (*Betula ermanii*), ива удская (*Salix udensis*), полынь пышная (*Artemisia vulgaris kamtschatica*) и вейник канадский (*Calamagrostis canadensis*).

Отбор растительного материала производили согласно методическим указаниям по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства [Методические указания ..., 1992].

Каждую пробу (массой 0,5–1 кг) получали путем объединения образцов, собранных из 8–10 точечных проб. Весь растительный материал высушивали до воздушно-сухого состояния, измельчали и просеивали через сито с диаметром отверстий 2 мм. После этого пробы инкубировали при 60°C в течение 24 ч. Затем на-

веску сухих растений массой 0,2 г помещали в раствор концентрированной азотной кислоты. Кислотное озоление образцов проводили в системе разложения проб Milestone Ethos UP в течение 25 мин при температуре 200°C.

Определение содержания металлов (Cu, Zn, Pb и Cd) в растениях выполняли с помощью атомно-эмиссионного спектрометра с микроволновой плазмой Agilent MP-AES 4200. Вычисление концентраций элементов 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 оценки степени загрязнения тяжелыми металлами растительного покрова городской среды использовали коэффициент концентрации (K_c) и суммарный показатель загрязнения (Z_c).

Первый показатель позволяет выявить техногенные аномалии в содержании конкретного элемента. K_c определяли как отношение фактического содержания определяемого металла в растении исследуемого участка к его содержанию в растении фонового участка:

$$K_c = C_i / C_{\text{ф}}, \quad (1)$$

где C_i – содержание химического элемента в точке опробования;

$C_{\text{ф}}$ – содержание элемента на фоновом участке.

Для оценки суммарного загрязнения среды ТМ с использованием фитоиндикаторов использовали суммарный показатель концентрации (Z_c) загрязнения, который рассчитывали на основе коэффициентов концентрации [Сагет и др., 1990]:

$$Z_c = \sum K_c - (n - 1), \quad (2)$$

где K_c – коэффициенты концентраций элементов;

n – число определяемых суммируемых элементов с $K_c > 1$.

Степень загрязнения растительности ТМ определяли по величине Z_c : слабая $Z_c < 3$; средняя $Z_c = 3-10$; сильная $Z_c > 10$ [Байбеков и др., 2007].

Для сравнительного анализа изменений содержания ТМ в растительном покрове г. Петропавловска-Камчатского и степени его металлического загрязнения использовали данные, полученные в 2017 и 2018 гг. [Авдощенко, Климова, 2020а].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Валовое содержание ТМ в растительном покрове

г. Петропавловска-Камчатского в 2020 г.

Медь. В летний период 2020 г. в районах исследования содержание меди в растениях варьировало в диапазоне от 3,1 до 27,8 мг/кг (рис. 2). Наибольшее содержание металла было выявлено в листьях растений *A. vulgaris kamtschatica* (полынь), собранных в районе «Краевая библиотека», наименьшее – в образцах *C. canadensis* (вейник) из этого же района. В целом для вейника характерен самый низкий уровень накопления меди среди всех проанализированных видов растений. В листьях полыни из городской среды уровень ее аккумуляции варьировал в диапазоне 16,6–27,8 мг/кг, в растениях древесного яруса не превышал 12,5 мг/кг (рис. 2). Следует отметить, что для юго-восточной Камчатки содержание меди в надземной части растений вейника составляло 5,7 мг/кг [Захарихина, Литвиненко, 2019].

Цинк. В 2020 г. в исследуемых районах, включая фоновый участок, диапазон содержания цинка в растительных образцах варьировал в широких пределах: от 29,3 до 416,7 мг/кг (рис. 2). Наибольшее его содержание было выявлено в листьях *S. udensis* (ива), произраставшей в районах «Автостанция 10-й км» и «Стадион “Спартак”», наименьшее – в пробах *C. canadensis* на участке «Краевая библиотека». Также в сравнении с другими растениями городской территории в образцах вейника определены наименьшие значения концентраций цинка. Его содержание в листьях *C. canadensis*, собранных в районах «Госпиталь», «Ботанический переулок» и «Краевая библиотека», не превышало таковое для фонового участка (39,2 мг/кг), в остальных

районах города («Автостанция 10-й км» и «Стадион «Спартак»»), напротив, значительно превышало фоновые значения. У представителей древесного яруса уровень накопления цинка был заметно выше, чем у растений травянистого яруса. Такая

же особенность была выявлена нами ранее для ольхи, произрастающей на территории г. Петропавловска-Камчатского [Авдощенко, Климова, 2020a]. В 2020 г. наиболее высокой степенью биоаккумуляции цинка отличалась ива (рис. 2).

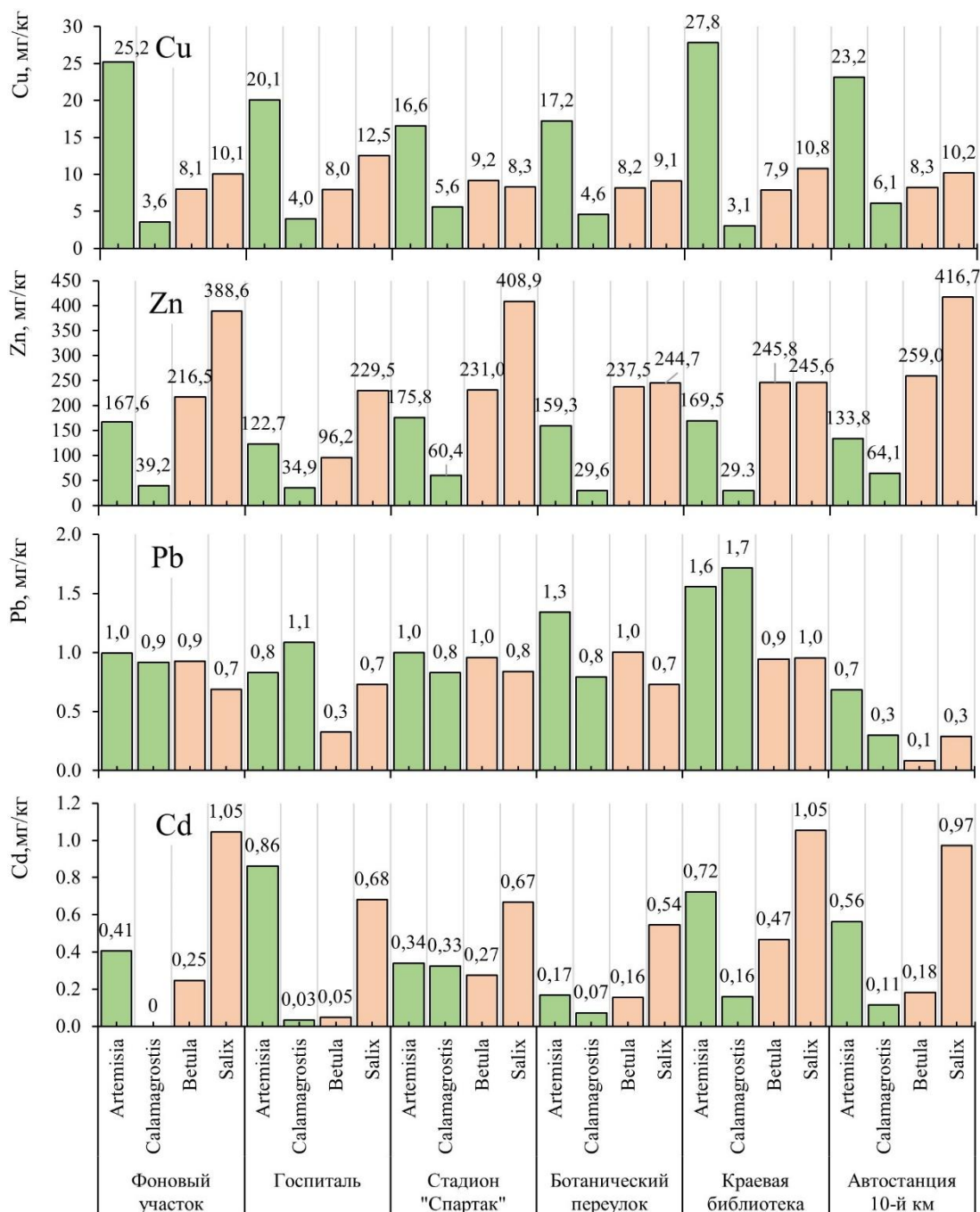


Рис. 2. Содержание тяжелых металлов (мг/кг) в листьях растений, собранных в исследованных районах г. Петропавловска-Камчатского в летний период 2020 г.: меди (Cu), цинка (Zn), свинца (Pb) и кадмия (Cd). Травянистый ярус выделен зеленой заливкой ячейки, древесный – оранжевой заливкой

Fig. 2. Heavy metal contents in plants collected from Petropavlovsk-Kamchatsky in summer 2020. The plants belonging to herbaceous layer are indicated with green color and those of the woody layer with orange color

Свинец. Содержание свинца в листьях растений городской среды в 2020 г. варьировало от 0,1 до 1,7 мг/кг (рис. 2). Наибольшее его содержание было выявлено в *C. canadensis*, произраставшем в районе «Краевая библиотека», наименьшее – в листьях березы в районе «Автостанция 10-й км». Отметим, что уровень накопления свинца в вейнике был сопоставим с другими изученными видами, в отношении других металлов он всегда был существенно ниже (рис. 2). Следует упомянуть, что его содержание у *C. canadensis* из природной среды юго-восточной Камчатки в среднем не превышает 0,4 мг/кг [Захарихина, Литвиненко, 2019]. В целом на участках «Ботанический переулок» и «Краевая библиотека» у большинства растительных образцов выявлены значения этого металла, превышающие фоновые концентрации.

Кадмий. В исследованных пробах растений диапазон содержания кадмия в 2020 г. варьировал от 0 до 1,05 мг/кг (рис. 2). Наибольшее его содержание в городской среде было выявлено в листьях растений *S. udensis* в районе «Краевая библиотека», наименьшее – в *C. canadensis* и *B. ermanii* (береза), произраставших в районе «Госпиталь». Отдельно отметим, что в растительных образцах из фонового участка накопление кадмия было сопоставимо с таковыми для городской среды. Однако в листьях полыни и ивы, собранных в районах «Стадион “Спартак”» и «Ботанический переулок», его содержание было ниже фонового уровня.

У многих растений содержание ТМ на фоновом участке превышало значения городской среды, что отражает геохимическую специализацию фонового участка и, вероятно, наличие антагонизма в поглощении металлов в загрязненных участках. Основываясь на приведенных выше данных, в 2020 г. ряд уменьшения суммарного

содержания тяжелых металлов в растениях городской среды имеет следующую последовательность: *S. udensis* > *B. ermanii* > *A. vulgaris kamtschatica* > *C. canadensis*.

Динамика накопления ТМ в растениях г. Петропавловска-Камчатского в 2017–2020 гг.

Известно, что растения в разной степени аккумулируют ТМ [Ильин, 1991; Ильин, Сысо, 2001]. Так, в проведенных нами ранее исследованиях было выявлено, что в г. Петропавловске-Камчатском *S. udensis* и *A. vulgaris kamtschatica* могут выступать видами – индикаторами загрязнения окружающей среды цинком [Авдощенко, Климова, 2020а]. Они также в наибольшей степени накапливают кадмий, в то время как у других видов его концентрация изменяется незначительно. Медь и свинец в наиболее высоких концентрациях содержались в растениях *B. ermanii*, *S. udensis* и *A. vulgaris kamtschatica*. На этом основании нами был сделан вывод, что в условиях Камчатского края именно иву удскую и полынь пышную целесообразно использовать в качестве видов – индикаторов металлического загрязнения урбанизированных территорий [Авдощенко, Климова, 2020а, 2020б]. В настоящей работе для этих видов проведен сравнительный анализ содержания ТМ на территории г. Петропавловска-Камчатского и фонового участка за период 2017–2020 гг. (рис. 3).

Содержание меди в *A. vulgaris kamtschatica* и *S. udensis* за весь период исследования варьировало слабо и не превышало 25,2 мг/кг у первого вида и 14,1 мг/кг у второго вида. Отметим, что в растениях из фонового участка ее уровень был даже несколько выше (рис. 3). В отношении цинка к 2020 г. выявлена тенденция к возрастанию его содержания в растительном

покрове как у представителей травянистого яруса, так и в древесных породах (рис. 3). Кроме того, концентрация цинка у растений урбанизированной территории во всех случаях была выше, чем на фоновом участке. С 2017 г. по 2020 г. уровень его накопления у растений возрос практически в два или более раз. Следует отметить, что поглощение необходимых эссенциальных микроэлементов (Zn и Cu) растениями происходит интенсивнее, чем остальных проанализированных металлов.

Уровни содержания свинца и кадмия в видах-индикаторах в городской среде были сопоставимы с таковыми фонового участка (рис. 3). В исследованных районах накопление этих металлов растениями имело схожую тенденцию: незначительное увеличение к 2018 г. и резкое снижение к 2020 г. Так, содержание свинца у *A. vul-*

garis 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 четыре года 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.

Как отмечалось в работах других авторов, поглощение и накопление металлов зависит от экологических факторов среды произрастания, а также от вида растения [Ильин, 1991; Панин, 1999; Шихова, 2012]. В связи с этим в различных условиях произрастания необходимо выделять определенные виды-индикаторы, которые могут быть использованы для конкретных параметров и особенностей среды. Так, в качестве биоиндикатора содержания ТМ в г. Петропавловске используется береза [Ветчинникова и др., 2013].

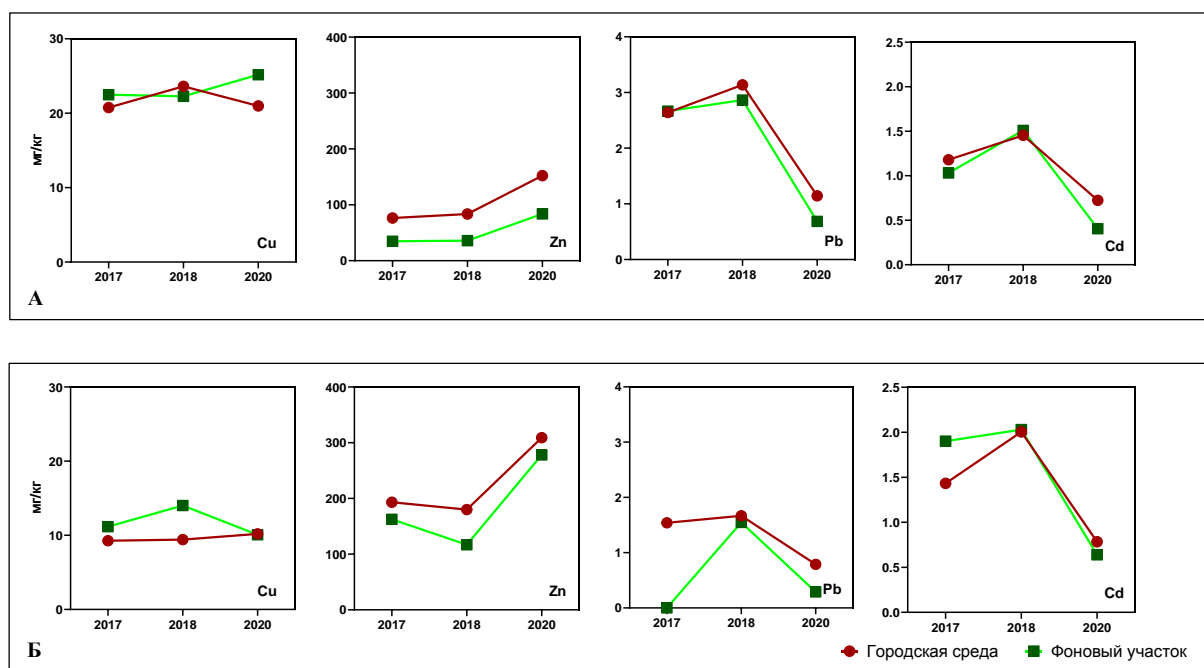


Рис. 3. Усредненное содержание меди (Cu), цинка (Zn), свинца (Pb) и кадмия (Cd) в листьях *Artemisia* (А) и *Salix* (Б), произраставших на территории г. Петропавловска-Камчатского и фонового участка в период 2017–2020 гг.

Fig. 3. Average value of heavy metal contents (Cu, Zn, Pb and Cd) in leaves of *Artemisia* (A) and *Salix* (Б) collected from the studied sites of Petropavlovsk-Kamchatksy and background site in 2017–2020

Наиболее высокую аккумулирующую способность в отношении свинца среди представителей растительного покрова урбанизированной зоны г. Владивостока имеют семейства вязовых, розоцветных, сосновых [Шихова, 2012]. Как отмечается в работе Т.В. Жуйковой и Э.Р. Зиннатовой [2014], проводивших исследование в г. Нижнем Тагиле, почти все виды являются аккумуляторами тех или иных микроэлементов: одуванчик лекарственный накапливает в листьях Cu, Zn, Fe; мать-и-мачеха обыкновенная – Cu, Co, Cr; подорожник – Cu, Zn, Cr. Наибольшей концентрационной способностью в условиях города Оренбурга обладает тополь белый.

Таким образом, для использования видов-индикаторов с целью оценки содержания ТМ в среде необходимо учитывать региональные особенности произрастания и специфику источников поступления загрязнителей в окружающую среду. Особенностью урбанизированных территорий как среды обитания является наличие множества загрязнителей различной природы, которые могут препятствовать поступлению других элементов. Антропогенный фактор влияет на все компоненты городской среды, что затрудняет поиск фонового участка. Кроме того, часто загрязнение территории визуально невозможно установить. В связи с этим, вероятно, показатели фонового участка данного исследования не являются свободными от влияния тяжелых металлов техногенной природы.

Суммарное загрязнение ТМ растительного покрова города в 2017–2020 гг.

Для дифференцирования исследованных территорий городской среды по степени металлического загрязнения нами были рассчитаны коэффициенты концентрации и суммарный показатель загрязнения (Z_c) для видов-индикаторов (*A. vulgaris*

kamtschatica и *S. udensis*) за период с 2017 по 2020 гг. Для оценки степени накопления и загрязнения растений ТМ были использованы данные об их содержании в растительных образцах в летний период 2017–2018 гг. [Авдощенко, Климова, 2020а].

В 2017 г. суммарное загрязнение растений травянистого яруса ТМ для всей территории города соответствовало средней степени, наибольшие значения Z_c выявлены в районах «Автостанция 10-й км» и «Ботанический переулок» (рис. 4, А). Для этих же участков выявлен аналогичный уровень загрязнения ТМ в растениях древесного яруса (рис. 4, Б). В 2018 г. уровень металлического загрязнения растительного покрова города не изменился и также характеризовался средней степенью, однако максимальные значения Z_c в образцах полыни были определены для территорий «Госпиталь» и «Стадион “Спартак”», ивы – «Стадион “Спартак”» и «Ботанический переулок». В 2020 г. слабая степень загрязнения металлами была выявлена для большинства районов города, исключение составили участки «Госпиталь» и «Стадион “Спартак”» для травянистого яруса и участок «Автостанция 10-й км» – для древесного яруса (рис. 4, А и 4, Б).

Ряд уменьшения содержания металлов в травянистом ярусе на участках исследования в 2017 г. имел следующий вид: «Ботанический переулок» > «Автостанция 10-й км» > «Краевая библиотека» > «Стадион “Спартак”» > «Госпиталь». Аналогичный ряд в 2018 г. представлен следующим образом: «Госпиталь» > «Стадион “Спартак”» > «Автостанция 10-й км» > «Ботанический переулок» > «Краевая библиотека». В 2020 г. ряд уменьшения суммарного загрязнения ТМ в полыни имел следующую последовательность: «Краевая библиотека» > «Автостанция 10-й км» > «Госпиталь» > «Стадион “Спартак”» > «Ботанический переулок» (рис. 4).

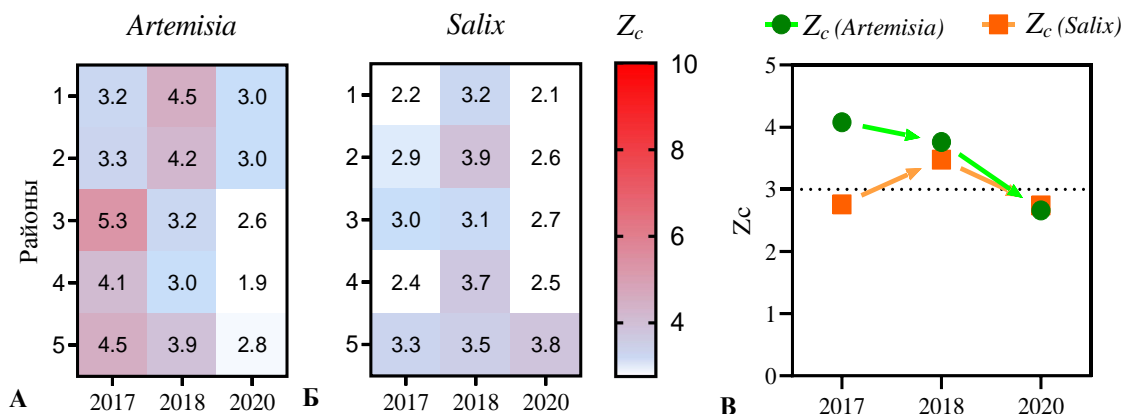


Рис. 4. Оценка суммарного загрязнения (Z_c) растительного покрова исследованных территорий г. Петропавловска-Камчатского в 2017, 2018 и 2020 гг. с использованием видов-индикаторов – *Artemisia* (А) и *Salix* (Б). Динамика суммарного металлического загрязнения городской среды (В). Районы города: 1 – «Госпиталь», 2 – «Стадион «Спартак»», 3 – «Ботанический переулок», 4 – «Краевая библиотека» и 5 – «Автостанция 10-й км»

Fig. 4. Assessment of total pollution (Z_c) in the plants from the studied sites in Petropavlovsk-Kamchatsky in 2017, 2018 and 2020, using species-indicators *Artemisia* (A) and *Salix* (Б). Dynamics of the total metallic pollution of the urban environment (B). Plant sampling sites in Petropavlovsk-Kamchatsky: 1 – Hospital, 2 – Spartak Stadium, 3 – Botanic lane, 4 – Regional library, 5 – Bus terminal 10 km

Суммарное загрязнение ТМ растений древесного яруса города за весь период исследования можно оценить как слабое. Районами с максимальным значением Z_c в иве в 2017 г. был участок «Автостанция 10-й км», в 2018 г. – «Стадион «Спартак»» и в 2020 г. – «Автостанция 10-й км» (рис. 4, Б). На основе полученных данных можно сделать заключение, что в целом к 2020 г. суммарное загрязнение растительного покрова г. Петропавловска-Камчатского снизилось и соответствовало незначительному уровню (рис. 4, В).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Распределение тяжелых металлов (Zn, Cu, Pb, Cd) в травянистых и древесных растениях Петропавловск-Камчатского городского округа зависит от экологических факторов районов их произрастания. Привнесение свинца и кадмия в городскую среду определяется в большей мере техногенными источниками. Динамика измене-

ния концентрации ТМ в растительном покрове города связана с усилением антропогенной нагрузки в 2018 г., и как следствие, увеличением их концентрации в растениях. Однако в 2020 г. уровень суммарного металлического загрязнения растений г. Петропавловска-Камчатского существенно снизился, и в целом оно характеризовалось как слабое. Полученные результаты могут быть использованы в качестве исходных данных для оценки и биомониторинга экологического состояния урбанизированных территорий Камчатского края и прилегающих районов.

ЛИТЕРАТУРА

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

- Авдощенко В.Г., Климова А.В. 2020б. Содержание свинца в почве и растительном покрове территорий г. Петропавловска-Камчатского. *Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промысловое и техническое использование*. Материалы Национальной (всероссийской) научно-практической конференции. Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ. С. 109–114.
- Байбеков Р.Ф., Савич В.И., Овчаренко М.М., Габбасова И.М., Афзалов Р.Ш. 2007. Методы исследования городских почв. Москва: ФГОУ ВПО РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева. 202 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.
- Воскресенский В.С., Воскресенская О.Л. 2011. Изменение активности окислительно-восстановительных ферментов у древесных растений в условиях городской среды. *Вестник Марийского государственного технического университета*. № 1. С. 75–82.
- Жуйкова Т.В., Зиннатова Э.Р. 2014. Аккумуляционная способность растений в условиях техногенного загрязнения почв тяжелыми металлами. *Поволжский экологический журнал*. № 2. С. 196–207.
- Захарихина Л.В., Литвиненко Ю.С. 2019. 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.
- Коновалова О.Н. 2018. Формы нахождения тяжелых металлов в почвенно-растительном покрове г. Архангельска. Диссертация ... канд. хим. наук. Архангельск. 202 с.
- 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.
- Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. 1992. Москва: ЦИНАО. 57 с.
- Панин М.С. 1999. Аккумуляция тяжелых металлов растениями Семипалатинского Прииртышья. Семипалатинск: ГУ «Семей». 308 с.
- Попова Л.Ф. 2012. Экологическое нормирование содержания тяжелых металлов в почвах Архангельской промышленной агломерации. *Arctic Environmental Research*. № 3. С. 35–43.
- Саэт Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. и др. 1990. Геохимия окружающей среды. Москва: Недра. 335 с.
- Серегин И.В., Кожевникова А.Д. 2008. Роль тканей корня и побега в транспорте и накоплении кадмия, свинца, никеля и стронция. *Физиология растений*. Т. 55. №1. С. 3–26.
- Шихова Н.С. 2012. Некоторые закономерности в накоплении свинца растениями в условиях урбанизации (на примере г. Владивосток). *Сибирский экологический журнал*. № 2. С. 285–294.

- Chibuike G.U., Obiora S.C. 2014. Heavy Metal Polluted Soils: Effect on Plants and Bioremediation Methods. *Applied and Environmental Soil Science*. Vol. 2014. Article ID 752708. <https://doi.org/10.1155/2014/752708>.
- Davydova S. 2005. Heavy metals as toxicants in big cities. *Microchemical Journal*. Vol. 79. P. 133–136.
- Duruibe J.O., Ogwuegbu M.O.C., Egwurugwu J.N. 2007. Heavy metal pollution and human biotoxic effects. *International Journal of Physical Sciences*. Vol. 2. P. 112–118.
- Hazrat A., Ezzat K., Ikram I. 2019. Environmental Chemistry and Ecotoxicology of Hazardous Heavy Metals: Environmental Persistence, Toxicity, and Bioaccumulation. *Journal of Chemistry*. Vol. 2019. Article ID 6730305. <https://doi.org/10.1155/2019/6730305>.
- Pulford I.D., Riddell-Black D., Stewart C. 2002. Heavy metal uptake by willow clones from sewage sludge-treated soil: the potential for phytoremediation. *International Journal of Phytoremediation*. Vol. 4. № 1. P. 59–72.
- 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.
- Stankovic S., Kalaba P., Stankovic A.R. 2014. Biota as toxic metal indicators. *Environmental Chemistry Letters*. Vol. 12. P. 63–84.
- Tozsér D., Magura T., Simon E. 2017. Heavy metal uptake by plant parts of willow species: A meta-analysis. *Journal of Hazardous Materials*. Vol. 336. P. 101–109.
- Petropavlovsk-Kamchatsky (Kamchatka territory) in 2017–2018. *Vestnik KamchatGTU (Bulletin of Kamchatka State Technical University)*. № 54. P. 48–64 (in Russian).
- Avdoshchenko V.G., Klimova A.V. 2020b. Lead content in soil and vegetation on the territory of Petropavlovsk-Kamchatsky city. *Proceedings of National (All-Russian) scientific and practical conference “Natural resources, their present condition, protection, industrial and technical use”*. Petropavlovsk-Kamchatsky: KamchatGTU. P. 109–114 (in Russian).
- Baybekov R.F., Savich V.I., Ovcharenko M.M., Gabbasova I.M., Afzalov R.Sh. 2007. Methods of study of urban soils. Moscow, FGOU VPO RGAU – MSHA im. K.A. Timiryazeva. 202 p. (in Russian).
- 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. *Transactions of Karelian Research Centre of Russian Academy of Science. No 3. Experimental biology*. № 3. P. 68–73 (in Russian).
- Voskressensky V.S., Voskressenskaya O.L. 2011. Redox enzymes activity changes in woody plants in the urban environment. *Vestnik of the Mari State University*. № 1. P. 75–82 (in Russian).
- Zhuykova T.V., Zinnatova E.R. 2014. Accumulating capability of plants in areas anthropogenically polluted with heavy metals. *Povolzhskij jekologicheskij zhurnal (Povolzhskiy Journal of Ecology)*. № 2. P. 196–207 (in Russian).
- Zakharikhina L.V., Litvinenko Yu.S. 2019. Volcanism and geochemistry of soil and vegetation cover of Kamchatka. Communication 3. Elemental composition of vegetation of volcanic ecosystems. *Vulkanologija i sejsmologija (Vulkanologia i sejsmologija)*. № 4. P. 40–51 (in Russian).

REFERENCES

- Avdoshchenko V.G., Klimova A.V. 2020a. Contents of heavy metals in the plants of

- Ilyin V.B. 1991. Heavy metals in the system “soil-plants”. Novosibirsk: Nauka. 151 p. (in Russian).
- 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. (in Russian).
- 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. (in Russian).
- 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 nauki (Bulletin of Immanuel Kant Baltic Federal University)*. № 7. P. 57–69 (in Russian).
- Guidance document on the determination of heavy metals in farmland soils and crop production. 1992. Moscow: CINAO. 57 p. (in Russian).
- Panin M.S. 1999. Accumulation of heavy metals by plants of the Semipalatinsk Irtysh region. Semipalatinsk: GU “Senej”. 308 p. (in Russian).
- Popova L.F. 2012. Environmental standardization of heavy metals content in the soils of the Arkhangelsk industrial agglomeration. *Arctic Environmental Research*. № 3. P. 35–43 (in Russian).
- Saet Yu.E., Revich B.A., Yanin E.P. et al. 1990. Geochemistry of the environment. Moscow: Nedra. 335 p. (in Russian).
- Seregin I.V., Kozhevnikova A.D. 2008. Roles of root and shoot tissues in transport and accumulation of cadmium, lead, nickel, and strontium. *Fiziologija rastenij (Russian Journal of Plant Physiology)*. Vol. 55. № 1. P. 1–22.
- Shihova N.S. 2012. Some Features of Lead Accumulation in Plants Under the Urban Conditions (for Vladivostok as example). *Sibirskij jekologicheskij zhurnal (Contemporary Problems of Ecology)*. № 2. P. 285–294 (in Russian).
- Chibuike G.U., Obiora S.C. 2014. Heavy Metal Polluted Soils: Effect on Plants and Bioremediation Methods. *Applied and Environmental Soil Science*. Vol. 2014. Article ID 752708. <https://doi.org/10.1155/2014/752708>.
- Davydova S. 2005. Heavy metals as toxicants in big cities. *Microchemical Journal*. Vol. 79. P. 133–136.
- Duruibe J.O., Ogwuegbu M.O.C., Ewurugwu J.N. 2007. Heavy metal pollution and human biotoxic effects. *International Journal of Physical Sciences*. Vol. 2. P. 112–118.
- Hazrat A., Ezzat K., Ikram I. 2019. Environmental Chemistry and Ecotoxicology of Hazardous Heavy Metals: Environmental Persistence, Toxicity, and Bioaccumulation. *Journal of Chemistry*. Vol. 2019. Article ID 6730305. <https://doi.org/10.1155/2019/6730305>.
- Pulford I.D., Riddell-Black D., Stewart C. 2002. Heavy metal uptake by willow clones from sewage sludge-treated soil: the potential for phytoremediation. *International Journal of Phytoremediation*. Vol. 4. №1. P. 59–72.
- 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.
- Stankovic S., Kalaba P., Stankovic A.R. 2014. Biota as toxic metal indicators. *Environmental Chemistry Letters*. Vol. 12. P. 63–84.
- Tozsér D., Magura T., Simon E. 2017. Heavy metal uptake by plant parts of willow species: A meta-analysis. *Journal of Hazardous Materials*. Vol. 336. P. 101–109.

Информация об авторах
Information about the authors

Авдощенко 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-код: 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-код: 3188-5428, Author ID: 732623; Scopus ID: 56711736100.