

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2020

Скупневский С.В.<sup>1,2</sup>, Ракитский В.Н.<sup>1</sup>, Сеницкая Т.А.<sup>1</sup>, Николаев И.А.<sup>2</sup>, Цагаева В.В.<sup>3</sup>

## Эффективность использования вечнозелёных растений в качестве тест-объектов социально-гигиенического мониторинга промышленного города

<sup>1</sup>ФБУН «Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 141014, Мытищи;

<sup>2</sup>ФГОУ ВО «Северо-Осетинский государственный университет им. К.Л. Хетагурова», 362025, Владикавказ;

<sup>3</sup>ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Республике Северная Осетия – Алания», 362021, Владикавказ

**Введение.** Применение эффективных растительных тест-объектов в социально-гигиеническом мониторинге позволяет получить интегральную оценку антропогенного воздействия на начальное звено трофической цепи, что способствует принятию мер по снижению рисков для здоровья человека.

**Цель** – научное обоснование эффективности использования вечнозелёных растений в качестве тест-систем при осуществлении социально-гигиенического мониторинга приоритетных загрязнителей окружающей среды – тяжёлых металлов.

**Материал и методы.** Исследования проведены в г. Владикавказе, где расположены заводы «Электроцинк» (Pb – Zn – Cd производство), «Победит» (W – Mo – Re – Co производство), «Газоаппарат» (гальванопокрытия), «Кристалл» (производство медно-никелевых сплавов) и др. Объектами исследования служили три наиболее представленных вида вечнозелёных растений: ель обыкновенная, ель колючая и туя западная, которые находят широкое применение в озеленении городов.

С деревьев отбирали молодую и старую хвою. Места сбора соответствовали условно чистым районам и районам с повышенной антропогенной нагрузкой. Содержание тяжёлых металлов определяли на пламенном атомно-абсорбционном спектрометре «Квант-2А». Вычисляли среднее значение и стандартную ошибку среднего, коэффициент корреляции Пирсона.

**Результаты.** Вне зависимости от мест сбора растений выявлены тяжёлые металлы в концентрациях: Cd 0,035–2,0; Pb 0,34–19,7; Cu 0,006–4,48; Zn 0,014–449,1 мг/кг. Доказано, что виды обладают схожей тропностью к одним и тем же элементам (коэффициенты корреляции от 0,78 до 0,91); накопление металлов в старой хвое относительно молодой характеризуется прямой зависимостью для Zn > Pb > Cd ( $k_{Zn}$  1,71,  $k_{Pb}$  1,58  $k_{Cd}$  1,27) и обратной для меди ( $k_{Cu}$  0,96).

**Заключение.** Закономерности биоаккумуляции тяжёлых металлов в тканях вечнозелёных растений отражают степень антропогенного воздействия на окружающую среду и определяют перспективность использования ели обыкновенной, ели колючей и туи западной в качестве чувствительного индикатора для оценки безопасности растительных объектов.

**Ключевые слова:** антропогенное загрязнение; вечнозелёные растения; риски для здоровья; социально-гигиенический мониторинг; тяжёлые металлы.

**Для цитирования:** Скупневский С.В., Ракитский В.Н., Сеницкая Т.А., Николаев И.А., Цагаева В.В. Эффективность использования вечнозелёных растений в качестве тест-объектов социально-гигиенического мониторинга промышленного города. Гигиена и санитария. 2020; 99 (7): 669-673. DOI: <https://doi.org/10.33029/0016-9900-2020-99-7-669-673>

**Для корреспонденции:** Скупневский Сергей Валерьевич, доктор биол. наук, вед. науч. сотр. отдела токсикологии и гигиены окружающей среды ФБУН «ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, 141014, Мытищи; вед. науч. сотр. ФГОУ ВО СОГУ им. К.Л. Хетагурова. E-mail: [dreammas@yandex.ru](mailto:dreammas@yandex.ru)

**Финансирование.** Исследование не имело спонсорской поддержки.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Участие авторов:** концепция и основные структурные элементы – Скупневский С.В., Ракитский В.Н., Сеницкая Т.А.; построение дизайна – Скупневский С.В.; сбор биологического материала, химический анализ, статистическая обработка данных – Николаев И.А., Цагаева В.В.

Поступила 01.06.2020

Принята к печати 19.06.2020

Опубликована 28.08.2020

Sergey V. Skupnevskii<sup>1,2</sup>, Valerii N. Rakitskii<sup>1</sup>, Tatina A. Synitskaya<sup>1</sup>, Igor A. Nikolaev<sup>2</sup>, Tsagaeva V.V.<sup>3</sup>

## Efficiency of usage evergreen plants as test objects of hygiene monitoring in an industrial city

<sup>1</sup>F.F. Erisman Federal Scientific Center of Hygiene, Mytishchi, 141014, Russian Federation;

<sup>2</sup>North Ossetian State University, Vladikavkaz, 362025, Russian Federation;

<sup>3</sup>Center of hygiene and epidemiology in the Republic of North Ossetia, Vladikavkaz, 362021, Russian Federation

*The use of effective plant test-objects in hygienic monitoring allows obtaining an integrated assessment of the anthropogenic and technogenic impact on the initial chain of the trophic level, which contributes to the adoption of measures to reduce risks to human health.*

**The aim of the study** is the scientific substantiation of the effectiveness of using evergreen plants as test systems for assessing the safety of the environment from priority pollutants-heavy metals.

**Material and methods.** The research was conducted in Vladikavkaz city, where “Elektrotsink” (Pb – Zn – Cd production), “Pobedit” (W – Mo – Re – Co-production), “Gazoapparat” (electroplating), “Kristall” (production of copper-nickel alloys) and others plants are located. The objects of research were the three most represented types of evergreen plants: *Picea abies*, *Picea pungens*, and *Thuja occidentalis*, widely used in urban gardening.

*Young and old needles were taken from the trees. The collection districts corresponded to relatively clean areas and areas with increased anthropogenic pollution. The concentration of heavy metals was determined by using a flame atomic absorption spectrometer "Kvant-2A". We calculated the average value and the standard error of the average, the Pearson correlation coefficient.*

**Results.** Heavy metals were detected in all plant species (regardless of districts for sample collection) in concentrations: Cd: 0.035–2.0; Pb: 0.34–19.7; Cu: 0.006–4.48; Zn: 0.014–449.1 mg/kg. It was proved that the species have a similar tropism to the same elements (correlation coefficients from 0.78 to 0.91); the accumulation of metals in old needles relative to young ones is characterized by a direct relationship for  $Zn > Pb > Cd$  ( $k_{Zn} - 1.71$ ,  $k_{Pb} - 1.58$ ,  $k_{Cd} - 1.27$ ) and the reverse for copper ( $k_{Cu} - 0.96$ ).

**Conclusion.** Patterns of bioaccumulation of heavy metals in the tissues of evergreen plants identify the degree of anthropogenic impact on the environment and determine the prospects for using *Picea abies*, *Picea pungens*, and *Thuja occidentalis* as a sensitive indicator for assessing the safety of plant species.

*К е y o r d s* : anthropogenic pollution; bioaccumulation; evergreens; health risks; heavy metals.

**For citation:** Skupnevskii S.V., Rakitskii V.N., Synitskaya T.A., Nikolaev I.A., Tsagaeva V.V. The efficiency of usage evergreen plants as test objects of hygiene monitoring in an industrial city. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2020; 99 (7): 669–673. DOI: <https://doi.org/10.33029/0016-9900-2020-99-7-669-673> (In Russian)

**For correspondence:** Sergei V. Skupnevskii, MD, Ph.D., DSci., leading researcher of the Department of toxicology and environmental health of the F.F. Erisman Federal Scientific Center of Hygiene, Mytishchi, 141014, Russian Federation. E-mail: [dreammas@yandex.ru](mailto:dreammas@yandex.ru)

#### Information about the authors:

Skupnevskii S.V., <https://orcid.org/0000-0002-6233-5944>; Rakitskii V.N., <https://orcid.org/0000-0002-6233-5944>; Synitskaya T.A., <https://orcid.org/0000-0002-3974-4977>; Nikolaev I.A., <https://orcid.org/0000-0002-2379-7601>

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

**Acknowledgment.** The study had no sponsorship.

**Contribution:** Skupnevskii S.V. – concept and main structural elements, construction of the design. Rakitskii V.N. – concept and main structural elements. Synitskaya T.A. – concept and main structural elements. Nikolaev I.A. – biological material collection, chemical analysis, statistical data processing. Tsagaeva V.V. – biological material collection, chemical analysis, statistical data processing. All co-authors – approval of the final version of the manuscript, responsibility for the integrity of all parts of the manuscript.

Received: June 1, 2020

Accepted: June 19, 2020

Published: August 28, 2020

## Введение

Согласно оценкам Всемирной организации здравоохранения, порядка 25% бремени заболеваний в мире связано с химическим загрязнением окружающей среды [1]. К числу приоритетных поллютантов относятся тяжёлые металлы (ТМ), обладающие широким спектром токсических свойств [2–4]. В работе [5] на основе метаанализа, охватывающего выборку свыше 300 тыс. независимых клинических случаев, рассчитаны относительные риски и приведены доказательства воздействия мышьяка, свинца, кадмия и меди на развитие сердечно-сосудистых заболеваний и ишемической болезни сердца – ведущих причин смертности во всём мире [6]. В структуре глобального масопереноса ТМ в качестве основного буферного кластера выступает осадочная оболочка Земли [7, 8]. Проблема усугубляется тем, что металлы в отличие от органических загрязнителей не подвергаются деградации, а перераспределяются между отдельными компонентами природной среды, вследствие чего время их полувыведения из пахотных слоёв почвы в нижние горизонты может исчисляться сотнями лет. В работе [9] приводятся результаты исследования вертикальной миграции свинца и цинка в местах исторических металлоплавильных (220–1900 гг.), согласно которым скорость перемещения металлов в глубину почвы колеблется в диапазоне 0,03–0,75 см в год. Миграционная активность тяжёлых металлов определяется как типом почвы и её физико-химическими свойствами, так и особенностями, связанными с положением металла в периодической таблице элементов. В исследовании [10] показано, что быстрое снижение концентрации растворимых и биодоступных ионных форм цинка и меди происходит уже при pH > 5,0, в то время как кобальт продолжает сохранять высокую подвижность при pH > 8,0. Для кадмия в модельных опытах было установлено 8,8-кратное снижение растворимости при переходе pH от 6,0 к 7,0. В то же время, как отмечает в своих работах Л.Б. Кузина [11, 12], длительное внесение удобрений на окультуриваемой почве способствует её значительному закислению, следствием чего служит повышение транслокационной активности элементов

в системе «почва – растение». С другой стороны, применение удобрений способствует загрязнению почвогрунтов тяжёлыми металлами, которые присутствуют в минеральных солях (фосфатах, нитратах и др.) [13], что может оказывать негативное воздействие на здоровье взрослого и детского населения. В статье [14] авторы приводят данные натурального эксперимента, согласно которому содержание биодоступных форм тяжёлых металлов (Zn, Cu, Mn, Fe, Pb и Cd) находится в прямой зависимости от реакции почвы. В частности, при pH 2,3 активными концентрациями для цинка и меди являются 1000 и 110 мг/кг соответственно, защелачивание почвы до значений pH 4,7 приводит к снижению доступных для растений форм этих же элементов в 5 раз при сохранении валового содержания металлов в субстрате неизменным.

Длительность депонирования тяжёлых металлов почвой обусловлена присутствием в ней органического вещества и составом микробного сообщества. В работе [15] приводятся доказательства обратной корреляционной связи ( $r_{xy} = -0,7$ ) между содержанием гуматов, фульватов и прочих соединений в почве и водно-миграционной активностью ТМ. В почвах, богатых гумусом, при pH, близких к нейтральным значениям, степень извлечения цинка и свинца составляет менее 0,1% даже в условиях сильного загрязнения поллютантами (772–1735 мг/кг для Zn; 106–6900 мг/кг для Pb). О воздействии почвенной микрофлоры на поведение и биодоступность ТМ пишут авторы статьи [10]. Они отмечают, что металлы, относящиеся к эссенциальным микроэлементам (кальций, хром, кобальт, медь, железо, марганец, никель, цинк и ряд других), активно поглощаются почвенными микроорганизмами. Структурно схожие с указанными металлами кадмий, свинец, ртуть и другие не относятся к числу необходимых микроэлементов и могут значительно нарушать процессы жизнедеятельности одноклеточных организмов. Это привело к выработке у них специфических механизмов детоксикации, одним из которых является депонирование токсичных металлов в виде малорастворимых сульфидных комплексов и их длительное рециркулирование в системах «почва-вода-человек», «почва-воздух-человек», «почва-растение-человек».

В работе [16] приведены результаты исследований, согласно которым внесение в почву, загрязнённую солями меди и цинка, хелатирующего агента – ЭДТА (этилендиаминтетраацетата) способствует повышению биодоступности металлов и их бионакоплению в тканях растений. Это служит доказательством высокой изменчивости и сложности почвы как объекта исследования, широким диапазоном возможностей протекания в ней реакций, способствующих извлечению малодоступных форм металлов (окклюдированных или инклюзивированных оксидами алюминия, железа и другими соединениями, составляющими неорганическую часть почвы, а также связанных в малорастворимые комплексы в виде гуматов и фульватов) в более подвижные соли, способные усваиваться корневой системой растений и накапливаться в стеблях, листьях и плодах, обуславливая высокие риски для здоровья человека.

С этих позиций определение валового содержания металлов в почве без учёта её физико-химических и структурно-механических свойств не способно отражать биодоступность приоритетных ксенобиотиков и возможность их включения в начальное звено трофической цепи. Это обуславливает необходимость совершенствования существующей методической базы социально-гигиенического мониторинга ТМ, в том числе за счёт развития научных основ о закономерностях накопления и распределения ксенобиотиков в тканях хвойных растений.

Цель работы – научное обоснование эффективности использования вечнозелёных растений в качестве тест-объектов при осуществлении социально-гигиенического мониторинга приоритетных загрязнителей окружающей среды – тяжёлых металлов.

## Материал и методы

Для гигиенического мониторинга промышленного г. Владикавказ в качестве объектов исследования были выбраны три наиболее представленных вида вечнозелёных растений: ель обыкновенная или европейская, ель колючая и туя западная.

**Характеристика объектов исследования.** Ель обыкновенная (европейская) (*Picea abies* (L.) Н. Karst.) относится к хвойным деревьям рода *Picea* семейства *Pinaceae*. В условиях благоприятствующих произрастанию, средний возраст растений может достигать трёхсот лет. Высота деревьев – от 35 до 50 м, корневая система расположена поверхностно.

Ель колючая (*Picea pungens* Engelm) относится к семейству *Pinaceae*. Деревья достигают в высоту до 30 м. Молодая жёсткая поросль имеет жёлто-коричневый цвет. Затем окраска хвои переходит в зелёный или голубоватый цвета, а длина хвоинки достигает 3 см. Цвет хвоинкам придаёт восковой налёт, который постепенно истончается к зиме, ввиду чего окраска деревьев становится тёмно-зелёной, а сами хвоинки более жёсткими.

Туя западная (*Thuja occidentalis* L.) относится к семейству *Cupressaceae*. Деревья растут достаточно медленно и достигают до 20 м в высоту. Корневая система деревьев поверхностная, мощная, разветвлённая. Весьма толерантна к холодам и городским условиям, за что широко используется в озеленении городов.

**Пробоотбор и пробоподготовка.** С выбранного дерева (внешне здорового, не повреждённого вредителями) на высоте 160–180 см отбирали молодую (М.) и старую (С.) хвою. Места сбора соответствовали условно чистым районам и районам с повышенной антропогенной нагрузкой: принималось во внимание наличие мощных транспортных магистралей и стационарных источников загрязнения (промышленные заводы).

Хвою с растений собирали в сухую погоду, отмывали от механических загрязнителей тёплым раствором бикарбоната натрия, обезжиривали метил-трет-бутиловым эфиром,

высушивали при 95 °С до постоянной массы и измельчали. Из 300–500 г методом квартования готовили аналитическую пробу, которую минерализовали сжиганием в муфельной печи при 450 °С и последующим растворением в азотной кислоте [17]. Количественное определение металлов проводили на пламенном атомно-абсорбционном анализаторе «Квант-2А». Процедура исследований – двойной слепой метод. Рассчитывались среднее значение и стандартная ошибка среднего ( $M \pm m$ ). Расчёт корреляционных связей осуществлялся по Пирсону в программе Excel.

## Результаты

Анализ валового содержания тяжёлых металлов в тканях вечнозелёных растений, используемых для озеленения города, представлен в таблице.

Из таблицы следует, что во всех анализируемых образцах, вне зависимости от места сбора, выявляются поллютанты. При этом кадмий в концентрациях, способных проявлять фитотоксичность, встречается в 46 из 53 случаев. Для остальных трёх элементов степень загрязнения биообъектов менее выражена.

По другому маркеру техногенного воздействия – свинцу – видно, что равно загрязнёнными оказываются районы, непосредственно примыкающие к металлургическим заводам («Топаз», «Электроцинк», «Победит»), а также находящиеся на пересечении оживлённых автомагистралей (ул. Куйбышева, Ставропольская и др.).

Сравнительный анализ трёх видов вечнозелёных растений позволяет заключить, что все они являются восприимчивыми к воздействию тяжёлых металлов, и при условии их произрастания в непосредственной близости друг от друга металлы накапливаются в них в сопоставимых количествах (парк Дендрарий, район завода «Электроцинк», перекрёсток проспекта Коста и улицы З. Космодемьянской и др.).

О сходной тропности к тканям растений четырёх различных ксенобиотиков и широкой их распространённости в исследуемом регионе свидетельствуют «высокие» и «весьма высокие» (по шкале Чеддока) корреляционные связи, выявленные в ходе математической обработки данных. Для ели обыкновенной и ели колючей  $r_{Cd/Pb} = 0,78$  для молодой хвои и 0,91 – для старой; для туи западной по этим же элементам коэффициент корреляции составляет 0,87. Аналогичные показатели: от 0,86 до 0,90 получены при расчётах связей Cd/Cu и Cd/Zn для хвойных растений.

Расчёты, проведённые на основании объединённых данных по отдельным элементам в различных видах, позволяют выявить закономерность: депонирование металлов в старой хвое относительно молодой характеризуется прямой зависимостью для  $Zn > Pb > Cd$  ( $k_{Zn}$  1,71,  $k_{Pb}$  1,58,  $k_{Cd}$  1,27) и обратной для меди ( $k_{Cu}$  0,96).

## Обсуждение

Республика Северная Осетия и её столица – город Владикавказ относятся к числу так называемых «горячих точек» химического загрязнения окружающей среды [15, 18, 19]. Как отмечает Б.А. Ревич, ситуация осложняется тем, что при наличии стационарных и мобильных источников эмиссии вредных химических выбросов, орографические и аэроклиматические условия региона неблагоприятно сказываются на процессах рассеяния загрязнителей в атмосфере. Это способствует значительной локализации металлов, в результате чего в г. Владикавказе выделена зона наибольшего загрязнения почвы (включающая территории жилой застройки) с содержанием свинца до 1000 мг/кг. По содержанию кадмия, цинка, меди, вольфрама, висмута и сурьмы ситуация столь же опасная [20]. Это определяет высокие содержания тяжёлых металлов в хвойных растениях как результат их транслкации и миграции в системах «почва – растение», «атмосферный воздух – растение».

## Содержание приоритетных загрязнителей в хвое вечнозелёных растений на территории Владикавказа

Место сбора образцов	Хвоя	Содержание металлов, мг/кг			
		Cd	Pb	Cu	Zn
Ориентировочно допустимые уровни [13]		< 0,2	< 10	< 30	< 150
<i>Ель обыкновенная</i>					
Ул. Чкалова – ул. Интернациональная	Молодая	0,25 ± 0,02	4,91 ± 0,04	2,20 ± 0,08	44,0 ± 2,29
	Старая	0,86 ± 0,01	5,29 ± 0,05	2,72 ± 0,14	101,8 ± 9,87
Пр. Коста – ул. З. Космодемьянской	Молодая	0,10 ± 0,01	0,34 ± 0,02	4,48 ± 0,28	89,5 ± 5,71
	Старая	1,00 ± 0,09	1,10 ± 0,07	0,81 ± 0,02	98,3 ± 8,14
Ул. Ставропольская – Черменское ш.	Молодая	1,11 ± 0,10	4,18 ± 0,57	3,57 ± 0,27	171,3 ± 9,17
	Старая	1,14 ± 0,08	17,85 ± 0,91	7,43 ± 0,61	488,6 ± 11,34
Ул. Ставропольская – ул. Неизвестного солдата	Молодая	1,24 ± 0,08	10,82 ± 0,99	3,83 ± 0,11	157,4 ± 9,88
	Старая	0,97 ± 0,06	8,95 ± 0,67	2,9 ± 0,15	449,2 ± 12,29
Черменское ш.	Молодая	0,34 ± 0,02	0,85 ± 0,04	1,27 ± 0,07	35,49 ± 1,17
	Старая	0,035 ± 0,02	0,11 ± 0,01	0,006 ± 0,0001	0,014 ± 0,0001
Р-н ОАО «Электроцинк»	Молодая	1,17 ± 0,08	6,23 ± 0,10	2,23 ± 0,09	182,1 ± 9,14
	Старая	0,47 ± 0,03	11,31 ± 0,71	4,06 ± 0,23	160,4 ± 8,32
Р-н ОАО «Электроцинк» Черменское ш. – ул. Пожарского	Молодая	0,76 ± 0,03	3,13 ± 0,16	2,03 ± 0,12	137,3 ± 6,14
	Старая	0,70 ± 0,03	11,84 ± 0,75	3,35 ± 0,16	202,3 ± 13,71
Черменское шоссе – 6-я Промышленная ул. Парк Дендрарий	Молодая	0,59 ± 0,02	6,15 ± 0,28	1,70 ± 0,08	157,8 ± 7,75
	Старая	0,25 ± 0,01	0,34 ± 0,02	0,65 ± 0,03	11,40 ± 0,61
Ул. Куйбышева (Дом офицеров)	Молодая	0,41 ± 0,02	2,96 ± 0,07	2,13 ± 0,09	83,4 ± 3,09
	Старая	1,43 ± 0,07	15,68 ± 0,12	2,04 ± 0,09	157,7 ± 8,34
Станция юннатов	Молодая	0,25 ± 0,02	2,41 ± 0,02	1,78 ± 0,05	49,0 ± 2,06
	Старая	0,23 ± 0,02	10,20 ± 0,41	0,97 ± 0,06	193,4 ± 8,33
ГОУ СПО «Владикавказский колледж электроники»	Молодая	0,24 ± 0,02	3,20 ± 0,08	2,48 ± 0,10	104,1 ± 5,12
	Старая	0,33 ± 0,02	2,08 ± 0,07	1,99 ± 0,05	59,4 ± 2,41
<i>Ель колючая</i>					
Сквер им. М. Горького	Молодая	0,16 ± 0,02	1,18 ± 0,02	2,10 ± 0,13	46,7 ± 2,44
	Старая	0,49 ± 0,03	6,17 ± 0,12	1,41 ± 0,08	56,4 ± 3,30
Ул. Куйбышева (Дом офицеров) Р-н ОАО «Топаз»	Молодая	0,69 ± 0,02	7,80 ± 0,27	2,40 ± 0,12	69,7 ± 3,25
	Старая	0,21 ± 0,02	6,80 ± 0,29	2,00 ± 0,17	28,1 ± 1,72
Ул. Пожарского	Молодая	0,95 ± 0,04	16,35 ± 0,75	3,80 ± 0,15	162,8 ± 8,09
	Старая	0,46 ± 0,03	9,90 ± 0,33	3,20 ± 0,28	59,0 ± 3,46
Черменское шоссе – 6-я Промышленная ул. Пр. Коста – ул. З. Космодемьянской	Молодая	0,50 ± 0,04	6,50 ± 0,24	1,46 ± 0,05	81,3 ± 4,24
	Старая	0,63 ± 0,04	7,0 ± 0,27	2,40 ± 0,09	133,3 ± 7,03
Ул. Ленина – ул. Горького	Молодая	0,11 ± 0,01	3,29 ± 0,10	2,27 ± 0,11	56,23 ± 2,21
	Старая	0,26 ± 0,01	5,88 ± 0,20	2,44 ± 0,08	54,6 ± 2,81
Пл. Победы	Молодая	0,33 ± 0,02	5,20 ± 0,21	1,82 ± 0,06	108,0 ± 6,19
	Старая	0,17 ± 0,01	5,38 ± 0,25	1,71 ± 0,05	31,2 ± 1,57
ООО ВПБЗ «Дарьял» Ул. Пожарского	Молодая	0,34 ± 0,02	8,19 ± 0,36	2,51 ± 0,14	147,6 ± 7,35
	Старая	0,15 ± 0,02	0,19 ± 0,02	0,41 ± 0,01	39,31 ± 1,86
Ул. Пожарского	Молодая	0,08 ± 0,01	3,35 ± 0,12	1,11 ± 0,08	34,0 ± 1,10
	Старая	0,29 ± 0,01	5,90 ± 0,24	2,13 ± 0,13	73,1 ± 3,18
Парк Дендрарий	Молодая	0,005 ± 0,0001	0,22 ± 0,01	0,032 ± 0,001	35,7 ± 1,94
	Старая	0,13 ± 0,005	6,10 ± 0,30	2,27 ± 0,09	32,1 ± 1,85
Ул. Куйбышева (Дом офицеров)	Молодая	0,18 ± 0,006	5,09 ± 0,32	1,08 ± 0,05	59,5 ± 2,28
	Старая	0,48 ± 0,02	4,71 ± 0,21	1,28 ± 0,05	84,1 ± 4,43
<i>Туя западная</i>					
Р-н ОАО «Топаз» Р-н ОАО «Электроцинк»	Молодая	2,00 ± 0,10	19,70 ± 0,80	9,00 ± 0,42	449,1 ± 15,31
	Старая	1,53 ± 0,08	18,10 ± 0,67	6,30 ± 0,31	178,5 ± 9,93
Ул. Ватутина (р-н к/т «Дружба») Пр. Коста (р-н маг. «Фарн»)	Молодая	0,21 ± 0,01	1,78 ± 0,06	1,47 ± 0,08	63,8 ± 2,85
	Старая	0,42 ± 0,02	5,72 ± 0,21	2,27 ± 0,09	66,7 ± 4,11
Пр. Коста – ул. З. Космодемьянской Ул. Пожарского	Молодая	0,14 ± 0,01	4,92 ± 0,19	3,53 ± 0,17	54,8 ± 2,51
	Старая	1,01 ± 0,05	14,56 ± 0,80	3,05 ± 0,15	90,4 ± 3,22
Ул. Пожарского (р-н МУЧ СОШ № 12) Черменское ш.	Молодая	0,24 ± 0,02	7,39 ± 0,42	1,92 ± 0,10	73,9 ± 3,57
	Старая	1,04 ± 0,42	9,82 ± 0,49	5,10 ± 0,37	88,9 ± 4,14
ГОУ СПО «Владикавказский колледж электроники» Ул. Куйбышева (Дом офицеров)	Молодая	0,50 ± 0,02	12,0 ± 0,54	3,60 ± 0,18	57,1 ± 2,40
	Старая	0,61 ± 0,03	14,50 ± 0,52	4,60 ± 0,22	77,1 ± 3,51
Парк Дендрарий	Молодая	0,17 ± 0,04	1,57 ± 0,02	2,75 ± 0,12	28,5 ± 1,08
	Старая				



Широкий диапазон выявляемых концентраций тяжёлых металлов в тканях растений: Cd – 0,035–2,0; Pb – 0,34–19,7; Cu – 0,006–4,48; Zn – 0,014–449,1 мг/кг определяет выбор хорошо представленных в городском озеленении ели обыкновенной, ели колючей и туи западной в качестве эффективных биомаркеров при проведении социально-гигиенического мониторинга окружающей среды в течение всего года, включая зимний период. Высокая степень накопления металлов в хвое может объясняться поверхностным залеганием корневой системы рассматриваемых видов растений. Авторы статьи [21] приводят доказательства эффективности утилизации синантропными растениями г. Оренбург (тысячелистник обыкновенный, лопух большой, полынь обыкновенная,

пырей ползучий и др.) кадмия, свинца, цинка, никеля и хрома из поверхностных слоёв почвы (10–20 см) относительно более глубоких уровней (30–40 см).

## Заключение

Закономерности биоаккумуляции приоритетных тяжёлых металлов (кадмия, свинца, меди и цинка) в вечнозеленых растениях отражают степень антропогенного воздействия на окружающую среду и могут определять перспективность использования указанных видов в качестве чувствительных биоиндикаторов при осуществлении социально-гигиенического мониторинга.

## Литература

(п.п. 1, 3–5, 7–10, 14 см. References)

2. Ракицкий В.Н., Синицкая Т.А. *Комбинированное действие пестицидов и тяжелых металлов*. М.: Шико; 2012.
6. ВОЗ. Информационный бюллетень. 10 ведущих причин смерти в мире. Available at: <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/the-top-10-causes-of-death>
11. Кузина Л.Б. Актуальное состояние изучения изменения форм и биодоступности меди и цинка в системе «почва - растение»: выбор дизайна исследования для мониторинга на большом массиве образцов. *Бюллетень науки и практики*. 2018; 4(7): 120–52.
12. Кузина Л.Б. Изменение форм и биодоступности меди и цинка при длительном применении удобрений. *Бюллетень науки и практики*. 2018; 4(7): 92–119.
13. Овчаренко М.М., ред. *Тяжелые металлы в системе почва-растение-удобрение*. М.; 1997.
15. Фокина А.И., Домрачева Л.И., Олькова А.С., Скугорева С.Г., Лялина Е.И., Березин Г.И. и др. Исследование токсичности проб урбано-земов, загрязненных тяжелыми металлами. *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2016; 18(2): 544–50.
16. Автухович И.Е., Постников Д.А. Влияние ЭДТА на поведение металлов в субстрате и их накопление растениями. *Агробиохимический вестник*. 2014; (1): 23–5.
17. Бок Р. *Методы разложения в аналитической химии*. М.: Химия; 1984.
18. Гиголаева Л.В., Бутаев Т.М., Меркулова Н.А. Опыт работы управления Роспотребнадзора по республике Северная Осетия-Алания по улучшению качества среды обитания и здоровья населения в зоне влияния предприятия свинцово-цинкового производства. *Здоровье населения и среда обитания*. 2012; (11): 44–5.
19. Половецкая О.С., Платонов В.В., Хадартцев А.А., Субботин В.А., Хрупачев А.Г. Оценка экологического состояния отдельных территорий г. Владикавказа. *Вестник новых медицинских технологий*. 2012; 19(4): 188–90.
20. Ревич Б.А. *«Горячие точки» химического загрязнения окружающей среды и здоровье населения России*. М.: Акрополь; 2007.
21. Васильева Т.Н., Брудастов Ю.А. Загрязнение металлами почв города Оренбурга: общие параметры взаимосвязи с фитоаккумуляцией металлов представителями синантропной флоры. *Вестник Оренбургского государственного университета*. 2007; (12): 83–6.

## References

1. WHO Health Risk Assessment Toolkit: Chemical hazards. International Program on Chemical Safety Harmonization Project Document. Geneva; 2010. Available at: <http://www.who.int/ipcs/publications/methods/harmonization/toolkit.pdf>
2. Rakitskiy V.N., Sinitskaya T.A. *The Combined Effect of Pesticides and Heavy Metals [Kombinirovannoe deystviye pestitsidov i tyazhelykh metallov]*. Moscow: Shiko; 2012. (in Russian)
3. Anyanwu B.O., Ezejiofor A.N., Igweze Z.N., Orisakwe O.E. Heavy metal mixture exposure and effects in developing nations: an update. *Toxics*. 2018; 6(4): 65. DOI: <http://doi.org/10.3390/toxics6040065>
4. Jaishankar M., Tseten T., Anbalagan N., Mathew B.B., Beeragowda K.N. Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. *Interdiscip Toxicol*. 2014; 7(2): 60–72. DOI: <http://doi.org/10.2478/intox-2014-0009>
5. Chowdhury R., Ramond A., O'Keefe L.M., Shahzad S., Kunutsor S.K., Muka T. et al. Environmental toxic metal contaminants and risk of cardiovascular disease: systematic review and meta-analysis. *BMJ*. 2018; 362: k3310. DOI: <http://doi.org/10.1136/bmj.k3310>
6. WHO. Fact sheet. The top 10 causes of death. Available at: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/the-top-10-causes-of-death>
7. Tchounwou P.B., Yedjou C.G., Patlolla A.K., Sutton D.J. Heavy metal toxicity and the environment. *Exp Suppl*. 2012; 101: 133–64. DOI: [http://doi.org/10.1007/978-3-7643-8340-4\\_6](http://doi.org/10.1007/978-3-7643-8340-4_6)
8. Kapahi M., Sachdeva S. Bioremediation options for heavy metal pollution. *J Health Pollut*. 2019; 9(24): 191–203. DOI: <http://doi.org/10.5696/2156-9614-9-24-191203>
9. Maskall J., Whitehead K., Thornton I. Heavy metal migration in soils and rocks at historical smelting sites. *Environ Geochem Health*. 1995; 17(3): 127–38. DOI: <http://doi.org/10.1007/BF00126081>
10. Olaniran A.O., Balgobind A., Pillay B. Bioavailability of heavy metals in soil: impact on microbial biodegradation of organic compounds and possible improvement strategies. *Int J Mol Sci*. 2013; 14(5): 10197–228. DOI: <http://doi.org/10.3390/ijms140510197>
11. Kuzina L.B. The current state of studying the changes in the forms and bioavailability of copper and zinc in the soil-plant system: optimal design studies for monitoring on large sample arrays. *Byulleten' nauki i praktiki*. 2018; 4(7): 120–52. (in Russian)
12. Kuzina L.B. Changes of forms and bioavailability of copper and zinc on with long application of fertilizers. *Byulleten' nauki i praktiki*. 2018; 4(7): 92–119. (in Russian)
13. Ovcharenko M.M., ed. *Heavy Metals in the Soil-Plant-Fertilizer System [Tyazhelye metally v sisteme pochva-rastenie-udobrenie]*. Moscow; 1997. (in Russian)
14. Clemente R., Walker D.J., Roig A., Bernal M.P. Heavy metal bioavailability in a soil affected by mineral sulphides contamination following the mine spillage at Aznalcóllar (Spain). *Biodegradation*. 2003; 14(3): 199–205. DOI: <http://doi.org/10.1023/a:1024288505979>
15. Fokina A.I., Domracheva L.I., Ol'kova A.S., Skugoreva S.G., Lyalina E.I., Berезин G.I., et al. Research the samples toxicity of urbanozems, polluted by heavy metals. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*. 2016; 18(2): 544–50. (in Russian)
16. Avtuhovich I.E., Postnikov D.A. The effect of EDTA on the behavior of metals in a substrate and their accumulation by plants. *Agrobiokhimicheskiy vestnik*. 2014; (1): 23–5. (in Russian)
17. Bock R. *A Handbook of Decomposition Methods in Analytical Chemistry*. New York: John Wiley and Sons; 1979.
18. Gigolaeva L.V., Butaev T.M., Merkulova N.A. Experience of Rospotreb-nadzor Republic of North Ossetia-Alania to improve quality and environmental health within the companies lead-zinc production. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya*. 2012; (11): 44–5. (in Russian)
19. Polovetskaya O.S., Platonov V.V., Khadartsev A.A., Subbotin V.A., Khrupachev A.G. The evaluation of ecological condition of different territories of Vladikavkaz city. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy*. 2012; 19(4): 188–90. (in Russian)
20. Revich B.A. «Hot Spots» of Chemical Pollution of the Environment and the Health of the Population of Russia [«Goryachie tochki» khimicheskogo zagryazneniya okruzhayushchey sredy i zdorov'e naseleniya Rossii]. Moscow: Akropol'; 2007. (in Russian)
21. Vasil'eva T.N., Brudastov Yu.A. Polluted with metal of soils of Orenburg city: common parameters of interaction with metal phytoaccumulation and representatives of synanthropic flora. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2007; (12): 83–6. (in Russian)