



СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ НАКОПЛЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ХВОЕ ИНТРОДУЦЕНТОВ В ЗЕЛЕННОЙ ЗОНЕ Г. НУР-СУЛТАН

Светлана А. Кабанова¹, kabanova.05@mail.ru, 0000-0002-3117-7381

✉ Матвей А. Данченко², mtd2005@sibmail.com, 0000-0002-5974-9556

Сабина А. Скотт³, sabina.a.scott@gmail.com, 0000-0002-2029-8938

Андрей Н. Кабанов¹, 7058613132@mail.ru, 0000-0002-5479-3689

Наталья В. Цветкова², tsvetkovanatasha@mail.ru 0000-0002-6492-2595

Виталий Ю. Кириллов¹, vitaliy.kirillov.82@mail.ru. 0000-0001-8056-4073

¹ *Казахский научно-исследовательский институт лесного хозяйства и агролесомелиорации, г. Щучинск, Республика Казахстан*

² *НИ Томский государственный университет, г. Томск, Российская Федерация*

³ *Государственный колледж Коламбуса, г. Коламбус, США*

Сравнительный анализ накопления тяжелых металлов в хвое интродуцентов в зеленой зоне г. Нур-Султана. Исследованы 10-летние лесные культуры, созданные из интродуцированных хвойных пород рода Ель (*Picea*), Пихта (*Abies*) и Лиственница (*Larix*) в зеленой зоне г. Нур-Султана. Наибольшей способностью к поглощению тяжелых металлов обладает ель сибирская (*Picea obovata* Ledeb.), далее в порядке уменьшения: ель черная (*Picea mariana* Mill.), ель Энгельмана (*Picea engelmannii* Parry ex Engelm.), пихта сибирская (*Abies sibirica* Ledeb.), лиственница сибирская (*Larix sibirica* Ledeb.), ель колючая (*Picea pungens* Engelm.). В хвое интродуцентов обнаружено превышение ПДК свинца (Pb), кобальта (Co) и марганца (Mn). У всех изученных хвойных пород высокая концентрация марганца привела к понижению концентрации активного железа (Fe), соотношение марганец-железо у деревьев рода Ель отмечено 1,6-2,9 : 1. Содержание данного элемента у лиственницы сибирской было наибольшим (34,9 мг/кг), но и железо присутствовало тоже в достаточно большом количестве (19,7 мг/кг), поэтому соотношение марганец-железо составило 1,8 : 1. Газоустойчивость и склонность к накоплению в хвое тяжелых металлов, декоративность и высокую сохранность показала ель сибирская, которую можно рекомендовать для посадки в зеленой зоне. Устойчивостью к неблагоприятным экологическим факторам и декоративностью обладают также ель черная и ель Энгельмана. Аккумуляционная способность и сохранность лиственницы сибирской, как и пихты сибирской очень низкая, поэтому эти породы не следует рекомендовать для выращивания в условиях зеленой зоны г. Нур-Султана.


Ключевые слова: тяжелые металлы, интродуценты, ель сибирская, ель черная, ассимиляционный аппарат


Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.


Для цитирования: Кабанова, С. А. Сравнительный анализ накопления тяжелых металлов в хвое интродуцентов в зеленой зоне г. Нур-Султан / С. А. Кабанова, М. А. Данченко, С. А. Скотт, А. Н. Кабанов, Н. В. Цветкова, В. Ю. Кириллов // Лесотехнический журнал. – Т. 11. – № 4 (44). – С. 57–67. – Библиогр.: с. 63–66 (21 назв.). – DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2021.4/5>.


Поступила: 10.06.2021 **Принята к публикации:** 10.12.2021 **Опубликована онлайн:** 30.12.2021


COMPARATIVE ANALYSIS OF HEAVY METALS ACCUMULATION IN THE NEEDLE OF INTRODUCED SPECIES IN THE GREEN ZONE OF NUR-SULTAN


Svetlana A. Kabanova¹, kabanova.05@mail.ru,  0000-0002-3117-7381

Matvei A. Danchenko² ✉, mtd2005@sibmail.com,  0000-0002-5974-9556

Sabina A. Scott³, sabina.a.scott@gmail.com,  0000-0002-2029-8938

Andrei N. Kabanov¹, 7058613132@mail.ru,  0000-0002-5479-3689

Natalya V. Tsvetkova², tsvetkovanatasha@mail.ru  0000-0002-6492-2595

Vitaliy Yu. Kirillov¹, vitaliy.kirillov.82@mail.ru.  0000-0001-8056-4073

¹ Kazakh Research Institute of Forestry and Agroforestry, Shchuchinsk, Republic of Kazakhstan

² SI Tomsk State University, Tomsk, Russian Federation

³ Columbus State College, Columbus, USA

Abstract

Comparative analysis of heavy metal accumulation in the needles of introduced species in the green zone of Nur-Sultan has been carried out. 10-year-old forest plantations created from introduced conifers of the genus Spruce (*Picea*), Fir (*Abies*) and Larch (*Larix*) have been investigated in the green zone of Nur-Sultan. Siberian spruce (*Picea obovata* Ledeb.) has the greatest ability to absorb heavy metals, then (in decreasing order): black spruce (*Picea mariana* Mill.), Engelmann spruce (*Picea engelmannii* Parry ex Engelm.), Siberian fir (*Abies sibirica* Ledeb.), Siberian larch (*Larix sibirica* Ledeb.), Colorado spruce (*Picea pungens* Engelm.). The needles of introduced species were found to exceed the MPCs for lead (Pb), cobalt (Co), and manganese (Mn). High concentration of manganese led to a decrease in the concentration of active iron (Fe), the manganese-iron ratio in trees of the Spruce genus was 1.6-2.9: 1 in all the studied conifers. The content of this element in Siberian larch was the highest (34.9 mg/kg) one, but iron was also present in a fairly large amount (19.7 mg/kg), so the manganese-iron ratio was 1.8:1. Gas resistance and a tendency to accumulate heavy metals in needles, decorativeness and high preservation have been shown by spruce Siberian, which can be recommended for planting in the green zone. Black spruce and Engelmann spruce are also resistant to unfavorable environmental factors and decorative. The accumulation capacity and safety of Siberian larch, as well as Siberian fir, is very low, so these species should not be recommended for growing in the green zone of Nur-Sultan.

Keywords: heavy metals, introduced species, Siberian spruce, black spruce, assimilation apparatus

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

For citation: Kabanova S.A., Danchenko M.A., Scott S.A., Kabanov A.N., Tsvetkova N.V., Kirillov V.Yu. (2021) Comparative analysis of the accumulation of heavy metals in the needles of introduced species in the green zone of Nur-Sultan. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forest Engineering journal], Vol. 11, No. 4 (4), pp. 57-67 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2021.4/5>.

Received: 10.06.2021 **Revised:** 22.10.2021 **Accepted:** 10.12.2021 **Published online:** 30.12.2021

Введение

Созданию пригородных лесов вокруг столицы Казахстана уделяется большое внимание. Первые посадки крупномерных саженцев в зеленой зоне г. Нур-Султан на площади 22 га были сделаны в 1997 году. С 1998 года практически ежегодно

посадку искусственных насаждений начали проводить на площади 2,5 тыс. га. С 2006 года лесоразведение проводится с ежегодным объемом посадки 5,0 тыс. га. Лесные угодья в зеленой зоне составляют 45 %, из них покрытые лесом площади занимают 3,9 %. Большую часть площади лесных угодья

дий занимают несомкнувшиеся лесные культуры (86,6 %). Нелесные угодья состоят в основном из пахотных угодий и залежей, прочие земли занимают не более 15 %.

По мере ускорения урбанизации антропогенная деятельность вносит большие объемы загрязняющих веществ в пригородную зеленую зону, вызывая сильное загрязнение атмосферного воздуха и почв тяжелыми металлами [1,2]. В настоящее время тяжелые металлы (ТМ), т.е. химические элементы с атомной массой больше 50, рассматриваются с медицинской и природоохранной стороны, т.к. изучаются не только их химические свойства, но и степень влияния на здоровье человека и окружающую среду. Наиболее вредными и опасными для человека с медицинской точки зрения являются ртуть (Hg), таллий (Tl), кадмий (Cd), свинец (Pb) и мышьяк (As) – превышение их допустимых норм способствует психофизиологическим нарушениям и даже летальному исходу. Но некоторые виды тяжелых металлов присутствуют в человеческом организме, участвуют в его жизнедеятельности и являются необходимыми микроэлементами (железо (Fe), цинк (Zn), медь (Cu) и др.).

Недавние успехи были достигнуты в понижении загрязнения почвы тяжелыми металлами, а также годовых колебаний как промышленных, так и городских почв [3, 4, 5, 6]. В связи с постоянным технологическим прогрессом в процессе индустриализации и урбанизации выброс токсичных загрязнителей, таких как тяжелые металлы, в природные ресурсы стал серьезной проблемой во всем мире. Древесные растения имеют более глубокие корни, большую биомассу и характеристики более длительного цикла роста, что, таким образом, может иметь более долгосрочное положительное влияние на восстановление после загрязнения тяжелыми металлами. Недавнее исследование показало, что реакция городских древесных растений на тяжелые металлы играет важную роль в развитии городского озеленения и восстановлении тяжелых металлов в городских почвах и зеленых насаждениях [7, 8]. Насаждения теряют устойчивость, деревья суховершиняют и отмирают, изменяется окраска и густота ассимиляционного аппарата, рост древесных растений замедляется [9]. Многие авторы ука-

зывают на способность древесных растений аккумулировать ТМ в листьях, хвое и коре, в меньшей степени в почках, репродуктивных органах и древесине. [10, 11, 12, 13, 14,15]. На степень поглощения растениями ТМ влияет расстояния от источника загрязнения. При близком расположении зеленых насаждений к автомагистрали в листьях и хвое древесных растений наблюдается повышенное содержание ТМ, причем наиболее выраженной способностью к их поглощению характеризуются тополя [16, 17, 18]. Кроме того, высказано предположение об увеличении концентрации ТМ с возрастом дерева, в зависимости от видовой принадлежности и высоты местопроизрастания [19]. Самые высокие концентрации железа были для *Pinus nigra*, цинка в *Picea pungens*, свинца в *Pinus sylvestris* и для всех других тяжелых металлов в *Abies bornmülleriana* [20].

Экологическую составляющую зеленой зоны вокруг города в степи трудно переоценить. Но почвенно-климатические условия создают определенные трудности для сохранности зеленых насаждений. Большая пятнистость и засоление почв, резко-континентальный климат негативно влияют на рост древесных и кустарниковых растений. Поэтому был заложен опыт по введению в зеленую зону хвойных интродуцентов. Это оправданно, т.к. деревья рода Ель (*Picea*) имеют поверхностную корневую систему и на их росте сильно не отражается карбонатный слой в почве и засоление.

Целью исследований являлось проведение сравнительного анализа накопления тяжелых металлов в хвое интродуцентов в зеленой зоне г. Нур-Султана.

Методы

Объектами исследований являлись 10-летние лесные культуры, созданные из интродуцированных хвойных пород в зеленой зоне г. Нур-Султана. Ряд интродуцентов был высажен в межкулисное пространство между рядами взрослых лесных культур березы повислой. Пробная площадь располагалась на равноудаленном расстоянии от оживленной автомагистрали и городской черты и составляла около 5 км. Для сравнения динамики накопления химических элементов был заложен опыт на пробной площади, расположенной рядом с

автострадой только для ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.), т.к. аналогичных одновозрастных лесных культур других видов хвойных растений больше нет. Пробная площадь вдали от источника загрязнения считалась фоновым (Сфон), а пробная площадь рядом с автострадой, – фактической (Сфакт).

Отбор растительного материала, его обработка и переработка выполнялась в соответствии существующими методиками [21].

Образцы отбирались на нижних ветках деревьев с указанием места отбора, расстояния от транспортных магистралей, вида, высоты растения, высоты взятия пробы. Отбиралась смешанная проба с деревьев одного вида. Отбор проводился в сухую погоду, как минимум после 3-х дней без осадков (для исключения занижения результатов за счет фиксируемого вымывания элементов). Для исследований брались пробы с тем условием, чтобы средняя проба составляла не менее 0,3 кг сырой массы. Хвоя собиралась со многих деревьев, в дальнейшем отбирался средний образец. Ассимиляционный аппарат помещался в холщовые мешочки, далее хвоя промывалась дистиллированной водой, подсушивалась и фиксировалась в сушильном шкафу при температуре 105⁰С в течение 15 минут, с последующим досушиванием при температуре +65⁰С в течение 2 часов. Затем пробы отправлялись для проведения анализов в специализированную лабораторию Казахстанско-японского инновационного центра.

Полученные результаты были обработаны методами статистического анализа. Коэффициент концентрации вычислялся как отношение фактического содержания определяемого вещества в хвое на пробе, расположенной ближе к автодороге, к его содержанию в аналогичной природной среде на фоновом участке [12]:

$$K_k = \frac{C_{\text{факт}}}{C_{\text{фон}}} \quad (1)$$

Где Сфакт - содержания определяемого вещества в точке опробования,

Сфон – содержание определяемого вещества на фоновом участке.

Результаты

Интродуцированные хвойные породы рода Ель (*Picea*) больше всего аккумулировали в хвое

цинк и марганец, причем наиболее активно – ель сибирская (*Picea obovata* Ledeb.). Содержание в ассимиляционном аппарате ели колючей (*Picea pungens* Engelm.) указанных тяжелых металлов было наименьшим. В целом, лучше всего очищает городской воздух от загрязнения ель сибирская, затем по значимости идет ель Энгельмана (*Picea engelmannii* Parry ex Engelm.), ель колючая и ель черная (*Picea mariana* Mill.) (рис. 1). Следует отметить, что имеются различия в скорости накопления тяжелых металлов. Так, ель сибирская слабее аккумулирует железо (9,45 мг/кг), тогда как на 1 кг сухого вещества хвоя ели черной содержит 14,95 мг/кг железа, а ель Энгельмана активнее аккумулирует кобальт и кадмий.

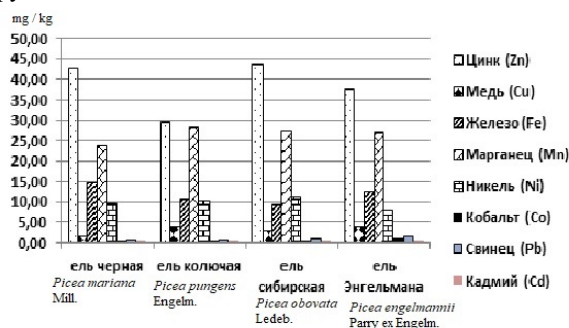


Рисунок 1. Содержание тяжелых металлов (мг/кг) в хвое рода Ель (*Picea*)

Figure 1. The content of heavy metals (mg / kg) in the needles of the genus Spruce (*Picea*)

Другие хвойные породы рода Пихта (*Abies*) и Лиственница (*Larix*) рассмотрены нами отдельно. Наиболее активно они накапливают в ассимиляционном аппарате цинк, железо, марганец и кобальт. По сравнению с родом Ель (*Picea*) данные интродуценты аккумулируют кадмий в несколько большем количестве, причем у пихты сибирской (*Abies sibirica* Ledeb.) и лиственницы сибирской содержание металла наблюдается в пределах нормы, но следует отметить, что у лиственницы (*Larix sibirica* Ledeb.) - в самом верхнем ее пределе (рис. 2).

Сравнение распределения тяжелых металлов в видах растений выявило наличие ряда закономерностей: наибольшей способностью к поглощению элементов, следовательно, к очищению атмосферы от тяжелых металлов обладает ель сибирская, далее в порядке уменьшения: ель черная, ель Энгельмана,

пихта сибирская, лиственница сибирская, наименьшей способностью обладает ель колючая (рис. 3).

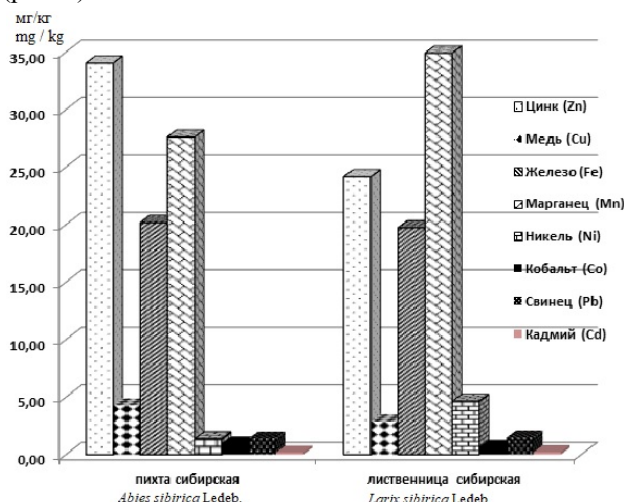


Рисунок 2. Содержание тяжелых металлов у интродуцентов родов Пихта (*Abies*) и Лиственница (*Larix*)

Figure 2. The content of heavy metals in introduced species of the genera Fir (*Abies*) and Larch (*Larix*)

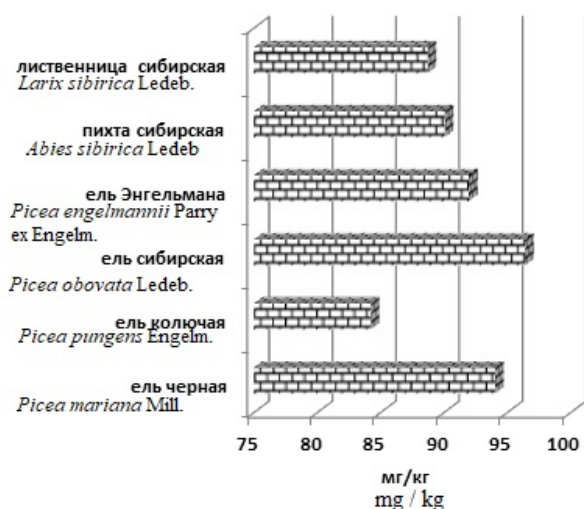


Рисунок 3. Суммарное содержание тяжелых металлов в хвое древесных растений
Figure 3. The total content of heavy metals in the needles of woody plants

По полученным данным можно сделать предварительные выводы о наиболее экологически оправданных древесных породах для очищения городского воздуха от примеси тяжелых металлов.

Наиболее газоустойчивыми показали себя хвойные породы – ель сибирская и ель черная.

Внушает опасение значительное превышение ПДК в листьях растений опасного тяжелого металла кобальта и свинца. Но в то же время можно сказать, что из-за депонирования вредных веществ в ассимиляционном аппарате деревьев, содержания данных металлов в воздухе значительно снижается.

Для сравнения быстроты накапливания тяжелых металлов в местах возле автодороги и в более удаленном, были выбраны идентичные одно-возрастные культуры ели сибирской (табл. 1).

Таблица 1
Содержание тяжелых металлов у ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.) на двух фонах

Table 1
The content of heavy metals in Siberian spruce (*Picea obovata* Ledeb.) On two backgrounds

Элементный состав, мг/кг Elemental composition, mg/kg	Содержание тяжелых металлов Heavy metal composition		Пре-выше-шение Сфак/Сфон, % Increase Cfac/Cbg, %	Кэф-фи-циент кон-цен-тра-ции Con-centration coef-ficient	ПДК (по Про-хоро-вой) MPC (Prokh orova)
	Сфак Cfac	Сфон Cbg			
Цинк (Zn)	1,41	43,69	28,86	1,41	150
Медь (Cu)	5,28	2,99	43,37	1,77	15
Железо (Fe)	13,99	9,46	32,38	1,48	20
Марганец (Mn)	35,31	27,39	22,43	1,29	25
Никель (Ni)	15,97	11,19	29,93	1,43	20
Кобальт (Co)	1,32	0,57	56,97	2,32	1
Свинец (Pb)	2,08	1,0	51,92	2,08	0,5
Кадмий (Cd)	0,22	0,12	47,26	10,90	0,5
	135,58	96,40			

Из таблицы видно, что в более удаленном от автомагистрали месте накопление тяжелых метал-

лов ниже на 22,4-56,9%, предельно-допустимую концентрацию тяжелых металлов в хвое растений превышали марганец и свинец на обеих пробных площадях. Содержание кобальта и свинца в хвое ели сибирской имело значительное различие между пробными площадями, коэффициент концентрации составил соответственно 2,32 и 2,08.

Отдельно рассмотрим отношение растений к железу и марганцу. Марганец принимает активное участие в обмене веществ растений, улучшает их естественные физиологические процессы и необходим для жизнедеятельности деревьев. Марганец накапливается в листьях в течение всего вегетационного периода и участвует в выделении кислорода. Среднее его содержание в листьях составляет 1 мг/кг сухой массы. В ходе проведения исследований выявлено, что в ассимиляционном аппарате всех без исключения растений наблюдается значительное превышение данного элемента. Избыток марганца неблагоприятно сказывается на росте и состоянии растений. Из литературных данных [6] известно, что некоторые древесные породы являются манганофиллами, т.к. «любителями» марганца - это березы и сосна. У изученных хвойных пород магний аккумулировался в пределах нормы или превышал его, но не в критических размерах. Высокая концентрация марганца приводит к понижению концентрации активного железа, что мы и видим на нашем примере. Оптимальное соотношение железа и марганца должно находиться в соотношении 2:1, но нами отмечено значительное превышение содержания марганца – у деревьев рода Ель (*Picea*) – 1,6-2,9 раз. Содержание данного элемента у лиственницы сибирской было наибольшим (34,9 мг/кг), но и железо присутствовало тоже в достаточно большом количестве (19,7 мг/кг), поэтому соотношение марганец-железо составило 1,8 раз. Следовательно, при таком соотношении указанных элементов растения могут быть ослаблены и у них может наступить хлороз.

Следует учесть, что не только газоустойчивость и способность аккумулировать тяжелые металлы должна присутствовать у древесных пород, рекомендуемых к посадке в зеленой зоне. Немаловажный фактор для озеленения - декоративность деревьев, а особенно важным моментом является

приживаемость и сохранность культур в зеленой зоне, состояние и рост деревьев. Поэтому рассмотрим все указанные признаки в совокупности (табл. 2).

Таблица 2
Основные биометрические показатели хвойных интродуцентов и сумма накопленных тяжелых металлов

Table 2
Main biometric indicators of coniferous introduced species and the amount of accumulated heavy metals

Порода Species	Сохранность, % Preservation, %	Высота, см Height, cm	Диаметр, см Dia- meter, cm	Сумма аккумуля- ции ТМ, мг/кг Accu- mulation sum of HM, mg/kg
Ель Энгельмана <i>Picea engelmannii</i> Parry ex Engelm.	47,9± 0,4	143,4± 0,1	2,1± 0,2	90,1
Ель колючая <i>Picea pungens</i> Engelm.	57,5± 0,2	155,8± 0,2	3,2± 0,3	84,2
Ель черная <i>Picea mariana</i> Mill.	29,0± 0,1	184,1± 0,2	2,3± 0,1	94,0
Ель сибирская <i>Picea obovata</i> Ledeb.	76,8± 0,5	211,6± 0,1	3,3± 0,1	96,4
Пихта сибирская <i>Abies sibirica</i> Ledeb.	16,4± 0,1	95,9± 0,2	1,9± 0,1	90,1
Лиственница сибирская <i>Larix sibirica</i> Ledeb.	29,7± 0,2	317,1± 0,4	4,5± 0,2	88,7

Из табл. 2 видно, что наибольшей аккумулятивной способностью деревьев рода Ель (*Picea*)

отличается ель сибирская, причем основные таксационные показатели и сохранность также превышают количественные признаки других видов ели. При низкой сохранности (29,0 %) ель черная имеет значительную накопительную способность тяжелых металлов, а сохранившиеся деревья декоративны и в возрасте 8 лет данный вид ели начал плодоносить, причем шишки у нее очень красивые, красно-кирпичного или лилового цвета. Также следует отметить ель Энгельмана, хотя таксационные показатели значительно отстают от других видов ели, данный вид имеет наиболее декоративный вид.

Лиственница сибирская имеет наибольшие показатели по всем наблюдаемым признакам, а следовательно, и фитомассу, что соответствует ее биологическим особенностям, но по количеству аккумулированного количества тяжелых металлов находится на 5 месте.

Заключение

Проведенные опыты еще раз доказывают вредное влияние урбанизации и индустриализации на экологию городов, в результате чего большое количество тяжелых металлов содержится в воздухе населенных пунктов. Часть поллютантов оседает в почве, древесине, коре и ассимиляционном аппарате древесных растений. В зеленой зоне г. Нур-Султана были созданы лесные культуры из хвойных интродуцентов, на примере которых было изучено содержание тяжелых металлов в хвое.

Наибольшей способностью к поглощению элементов, следовательно, к очищению атмосферы от тяжелых металлов, обладает ель сибирская (суммарно накопленные тяжелые металлы составили 96,4 мг/кг), далее в порядке уменьшения: ель черная (94,0 мг/кг), ель Энгельмана (90,1 мг/кг), пихта сибирская (90,1 мг/кг), лиственница сибирская (88,7 мг/кг), ель колючая (84,2 мг/кг). В хвое интродуцентов наблюдалось превышение ПДК

свинца, кобальта и марганца, остальные химические элементы присутствовали в хвое в допустимых пределах.

Вызывает тревогу содержание марганца и железа в хвое интродуцентов, т.к. у всех изученных пород высокая концентрация марганца привела к понижению концентрации активного железа, соотношение марганец-железо у деревьев рода Ель отмечено 1,6-2,9 : 1. Содержание данного элемента у лиственницы сибирской было наибольшим (34,9 мг/кг), но и железо присутствовало тоже в достаточно большом количестве (19,7 мг/кг), поэтому соотношение марганец-железо составило 1,8 : 1. При таком соотношении указанных элементов растения ослаблены и у них может наступить хлороз.

Поскольку для получения устойчивых и красивых насаждений зеленой зоны столицы Казахстана необходимы древесные растения не только газоустойчивые, но и декоративные, можно рекомендовать для посадки в культуры ель сибирскую, ель черную и ель Энгельмана. Данные хвойные породы в значительной мере аккумулируют тяжелые металлы в ассимиляционном аппарате и являются наиболее декоративными. Аккумуляционная способность и сохранность лиственницы сибирской, как и пихты сибирской очень низкая, поэтому для условий зеленой зоны г. Нур-Султана эти породы рекомендовать не представляется возможным.

This research is funded by the Ministry of Ecology, Geology and Natural Resources of the Republic of Kazakhstan (No. BR10263776)

Данное исследование финансируется Министерством экологии, геологии и природных ресурсов Республики Казахстан (No. BR10263776)

Список литературы

1. Бин Х.Э., Юнь З.Дж., Ши Дж.Б., Цзян Г.Б. Прогресс исследований загрязнения тяжелыми металлами в Китае: источники, аналитические методы, статус и токсичность. Китайский научный бюллетень. 2013. Вып. 58. С. 134–140. DOI: 10.1007/s11434-012-5541-0.
2. Коротченко И.С., Мучкина Е.Я. Сравнительная оценка накопления тяжелых металлов листовыми и хвойными породами в условиях техногенного загрязнения. Материалы конференции: «Механизмы

устойчивости растений и микроорганизмов к неблагоприятным условиям среды. Иркутск. 2018. С. 1067-1069. <http://www.sifibr.irk.ru/images/publications/mrpmue2018/251.pdf>.

3. Пенья-Фернандес А., Лобо-Бедмар М.С., Гонсалес-Муньос М.Дж. Годовая и сезонная изменчивость металлов и металлоидов в городских и промышленных почвах в Алькала-де-Энарес (Испания). 2015. *Environ Res.* Вып. 136. С. 40–46. DOI:10.1016/j.envres.2014.09.037.

4. Ло Х. С., Шен Ю., Чжу Ю.Г., Ли Х. Д. Загрязнение следами металлов в городских почвах Китая. 2012. *Наука об окружающей среде в целом.* Выпуск 421. С. 17–30. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2011.04.020.

5. Домбровски П., Понецка Б., Бачевска А.Х., Гворек Б. Влияние дорожного движения на загрязнение почвы и растений свинцом и хромом. 2016. *Przemysl Chemiczny.* Вып. 95. С. 384–388. DOI:10.15199/62.2016.3.10.

6. Чжао З., Хазелтон П. Оценка накопления и концентрации тяжелых металлов в различных типах городских придорожных почв в парке Миранда, Сидней. 2016. *Журнал почв и отложений.* Вып. 16. С. 2548–2556. DOI:10.1007/s11368-016-1460-z.

7. Гори З. Фитоэкстракция: Использование растений для удаления тяжелых металлов из почвы. 2016. Elsevier Inc. С. 385–409. DOI:10.1016/B978-0-12-803158-2.00015-1.

8. Ayan S., Sarsekova D., Kenesaryuly G., Yilmaz E., Gülseven O., Şahin İ. (2021): Accumulation of heavy metal pollution caused by traffic in forest trees in the park of Kerey and Janibek Khans of the city of Nur-Sultan, Kazakhstan. *Journal of Forest Science*, 67: 357–366. <https://DOI.org/10.17221/37/2021-JFS>.

9. Узаков З.З. Тяжелые металлы и их влияние на растения // *Символ науки.* 2018. № 1-2. С. 52-53. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tyazhelye-metally-i-ih-vliyanie-na-rasteniya>.

10. Кузнецова Т.Ю., Ветчинникова Л.В., Титов А.Ф. Аккумуляция тяжелых металлов в различных органах и тканях березы в зависимости от условий произрастания. *Труды Карельского научного центра РАН.* 2015. № 1. С. 86–94. DOI: 10.17076/eco27.

11. Копылова Л.В. Экологическая роль *Ulmus rumila* L. в ограничении поступления тяжелых металлов в окружающую среду некоторых техногенных территорий Забайкальского края. *Самарский научный вестник.* 2018. № 4. С. 57-63. DOI: 10.2441/2309-4370-2018-14110.

12. Ташенова А.Ж., Торопов А.С. Использование листьев как биогеохимических индикаторов состояния городской среды. *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов.* 2017. № 5. С. 114-124. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-listiev-rasteniy-kak-biogeohimicheskikh-indikatorov-sostoyaniya-gorodskoy-sredy>.

13. Уфимцева М.Д. Закономерности накопления химических элементов высшими растениями и их реакции в аномальных биохимических провинциях. *Геохимия.* 2015. № 5. С. 450-465. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23299407>.

14. Cetin M., Sevik H., Cobanoglu O. (2020). Ca, Cu, and Li in washed and unwashed specimens of needles, bark, and branches of the blue spruce (*Picea pungens*) in the city of Ankara. *Environmental Science and Pollution Research.* DOI:10.1007/s11356-020-08687-3.

15. Kang H.H., Liu X.H., Guo J.M., Wang B., Xu G.B., Wu G.J., Kang S.C., Huang J. (2019). Characterization of mercury concentration from soils to needle and tree rings of Schrenk spruce (*Picea schrenkiana*) of the middle Tianshan Mountains, northwestern China. *Ecological Indicators*, 104(0), 24-31. doi:10.1016/j.ecolind.2019.04.066

16. Сидоркина З.И., Макаревич Р.А. Оценка состояния возможностей восстановления аборигенных видов хвойных пород в городском ландшафте Владивостока. *Псковский областной журнал.* 2015. Т. 23. С. 51-58. URL: <https://e.lanbook.com/journal/issue/296595>.

17. Колмогорова Е.Ю. Содержание металлов в листьях древесных растений, произрастающих в условиях породного отвала «Кедровского» угольного разреза. *Бюллетень науки и практики.* 2018. № 9. С. 32-35. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/soderzhanie-tyazhelyh-metallov-v-listyah-drevesnyh-rasteniy-proizrastayuschih-v-usloviyah-porodnogo-otvala-keдровского-ugolnogo>.

18. Подлужная А.С., Бадмаева С.Е. Накопление тяжелых металлов в древесных растениях скверов и парков правобережья Красноярска. Вестник КрасГАУ. 2016. № 5. С. 91-95. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/nakoplenie-tyazhelyh-metallov-v-drevesnyh-rasteniyah-skverov-i-parkov-pravoberezhya-krasnoyarska>.

19. Korzeniowska J., Kraz P., Dorocki S. Heavy Metal Content in the Plants (*Pleurozium schreberi* and *Picea abies*) of Environmentally Important Protected Areas of the Tatra National Park (the Central Western Carpathians, Poland). *Minerals* 2021, 11, 1231. <https://DOI.org/10.3390/min1111231>.

20. Turkyilmaz A., Sevik H., Cetin M. (2018). The use of perennial needles as biomonitors for recently accumulated heavy metals. *Landscape and Ecological Engineering*, 14(1), 115–120. DOI:10.1007/s11355-017-0335-9.

21. Методические рекомендации по проведению полевых и лабораторных исследований почв и растений при контроле загрязнения окружающей среды металлами / под ред. Н. Г. Зырина, С. Г. Малахова. Москва : Гидрометеоиздат, 1981. 108 с.

References

1. Bin H.E., Yun Z.J., Shi J.B., Jiang G.B. Research progress of heavy metal pollution in China: Sources, analytical methods, status, and toxicity. *Chinese Science Bulletin*. 2013. Vol. 58. p. 134–140. DOI: 10.1007/s11434-012-5541-0

2. Korotchenko I. S., Muchkina E. Ya. Comparative assessment of the accumulation of heavy metals in deciduous and coniferous species in conditions of technogenic pollution. Conference materials: "Mechanisms of resistance of plants and microorganisms to unfavorable environmental conditions. Irkutsk. 2018. p. 1067-1069. (In Russ.). <http://www.sifibr.irk.ru/images/publications/mrpmue2018/251.pdf>

3. Peña-Fernández A., Lobo-Bedmar M.C., González-Muñoz M.J. Annual and seasonal variability of metals and metalloids in urban and industrial soils in Alcalá de Henares (Spain). 2015. *Environ Res*. Vol. 136. p. 40–46. DOI:10.1016/j.envres.2014.09.037

4. Luo X.S., Shen Y., Zhu Y.G., Li X.D. Trace metal contamination in urban soils of China. 2012. *Science of The Total Environment*. Vol. 421. p. 17–30. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2011.04.020

5. Dabrowski P., Poniecka B., Baczewska A.H., Gworek B. The effect of road traffic on soil and plant contamination with lead and chromium. 2016. *Przemysl Chemiczny*. Vol. 95. p. 384–388. DOI:10.15199/62.2016.3.10

6. Zhao Z., Hazelton P. Evaluation of accumulation and concentration of heavy metals in different urban roadside soil types in Miranda Park, Sydney. 2016. *Journal of Soils and Sediments*. Vol. 16. p. 2548–2556. DOI:10.1007/s11368-016-1460-z

7. Ghorri Z. Phytoextraction: The use of plants to remove heavy metals from soil. 2016. Elsevier Inc. p. 385–409. DOI:10.1016/B978-0-12-803158-2.00015-1

8. Ayan S., Sarsekova D., Kenesaryuly G., Yilmaz E., Gülseven O., Şahin İ. (2021): Accumulation of heavy metal pollution caused by traffic in forest trees in the park of Kerey and Janibek Khans of the city of Nur-Sultan, Kazakhstan. *Journal of Forest Science*, 67: 357–366. <https://DOI.org/10.17221/37/2021-JFS>

9. Uzakov Z.Z. Heavy metals and their effect on plants. *Symbol of science*. 2018. Vol. 1-2. p. 52-53. (In Russ.). <https://cyberleninka.ru/article/n/tyazhelye-metally-i-ih-vliyanie-na-rasteniya>

10. Kuznetsova T.Yu., Vetchinnikova L.V., Titov A.F. Accumulation of heavy metals in various organs and tissues of birch, depending on the growing conditions. *Proceedings of the Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2015. Vol. 1. p. 86–94. DOI: 10.17076/eco27 (In Russ.).

11. Kopylova L.V. Ecological role of *Ulmus pumila* L. in limitation the supply of heavy metals to the environment of some technogenic territories of the Trans-Baikal Territory. *Samara Scientific Bulletin*. 2018. Vol. 4. – p. 57-63. DOI: 10.2441/2309-4370-2018-14110. (In Russ.).

12. Tashenova A.Zh., Toropov A.S. Application of leaves as biogeochemical of urban environment state. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Georesource engineering*. 2017. Vol. 5. – p. 114-124. (In Russ.).

<https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-listiev-rasteniy-kak-biogeohimicheskikh-indikatorov-sostoyaniya-gorodskoy-sredy>

13. Ufimtseva M.D. Regularities of the accumulation of chemical elements by higher plants and their reactions in anomalous biochemical provinces. *Geochemistry*. 2015. Vol. 5. – p. 450-465. (In Russ.). <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23299407>

14. Cetin M., Sevik H., Cobanoglu O. (2020). Ca, Cu, and Li in washed and unwashed specimens of needles, bark, and branches of the blue spruce (*Picea pungens*) in the city of Ankara. *Environmental Science and Pollution Research*. DOI:10.1007/s11356-020-08687-3

15. Kang H.H., Liu X.H., Guo J.M., Wang B., Xu G.B., Wu G.J., Kang S.C., Huang J. (2019). Characterization of mercury concentration from soils to needle and tree rings of Schrenk spruce (*Picea schrenkiana*) of the middle Tianshan Mountains, northwestern China. *Ecological Indicators*, 104(0), 24-31. DOI:10.1016/j.ecolind.2019.04.066

16. Sidorkina Z.I., Makarevich R.A. Assessment of the state of possibilities for the restoration of native species of conifers in the urban landscape of Vladivostok. *Pskov Regional Journal*. 2015. Vol. 23. p. 51-58. (In Russ.).

17. Kolmogorova E.Yu. The content of metals in the leaves of woody plants growing in the conditions of the rock dump of the "Kedrovsky" coal mine. *Science and Practice Bulletin*. 2018. Vol. 9. p. 32-35. (In Russ.). <https://cyberleninka.ru/article/n/soderzhanie-tyazhelyh-metallov-v-listyah-drevesnyh-rasteniy-proizrastayuschih-v-usloviyah-porodnogo-otvala-kedrovskogo-ugolnogo>

18. Podluzhnaya A.S., Badmaeva S.E. Accumulation of heavy metals in woody plants of squares and parks on the right bank of Krasnoyarsk. *KrasSAU Bulletin*. 2016. Vol. 5. – p. 91-95. (In Russ.). <https://cyberleninka.ru/article/n/nakoplenie-tyazhelyh-metallov-v-drevesnyh-rasteniyah-skverov-i-parkov-pravoberezhya-krasnoyarska>

19. Korzeniowska, J.; Kraz, P.; Dorocki, S. Heavy Metal Content in the Plants (*Pleurozium schreberi* and *Picea abies*) of Environmentally Important Protected Areas of the Tatra National Park (the Central Western Carpathians, Poland). *Minerals* 2021, 11, 1231. <https://DOI.org/10.3390/min11111231>

20. Turkyilmaz A., Sevik H., Cetin M. (2018). The use of perennial needles as biomonitors for recently accumulated heavy metals. *Landscape and Ecological Engineering*, 14(1), 115–120. DOI:10.1007/s11355-017-0335-9.

21. Zyrina N.G., Malakhova S.G. Guidelines for conducting field and laboratory studies of soils and plants in the control of environmental pollution with metals. M.: Gidrometeoizdat. 1981. p. 108. (In Russ.).

Сведения об авторах

Кабанова Светлана Анатольевна – кандидат биологических наук, ассоц. профессор, Казахский научно-исследовательский институт лесного хозяйства и агролесомелиорации, г. Щучинск, Республика Казахстан, e-mail: kabanova.05@mail.ru.

✉ *Данченко Матвей Анатольевич* – кандидат географических наук, доцент, Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Российская Федерация, e-mail: mtd2005@sibmail.com.

Скотт Сабина Артуровна – Columbus State College, Коламбус, США, sabina.a.scott@gmail.com.

Кабанов Андрей Николаевич – Казахский научно-исследовательский институт лесного хозяйства и агролесоводства, г. Щучинск, Республика Казахстан, e-mail: kabanova.05@mail.ru.

Цветкова Наталья Владимировна – Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Российская Федерация, e-mail: tsvetkovanatasha@mail.ru.

Кириллов Виталий Юрьевич – Казахский научно-исследовательский институт лесного хозяйства и агролесоводства, г. Щучинск, Республика Казахстан, e-mail: vitaliy.kirillov.82@mail.ru.

Information about the authors

Kabanova Svetlana Anatolevna – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Kazakh Research Institute of Forestry and Agroforestry, Shchuchinsk, Republic of Kazakhstan, e-mail: kabanova.05@mail.ru.

✉ *Danchenko Matvei Anatol'evich* – Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, National Research Tomsk State University, Tomsk, Russian Federation, e-mail: mtd2005@sibmail.com.

Scott Sabina Arturovna – Columbus State College, Columbus, USA, e-mail: sabina.a.scott@gmail.com.

Kabanov Andrej Nikolaevich – Kazakh Research Institute of Forestry and Agroforestry, Shchuchinsk, Republic of Kazakhstan, e-mail: kabanova.05@mail.ru.

Tsvetkova Natalia Vladimirovna – National Research Tomsk State University, Tomsk, Russian Federation, e-mail: tsvetkovanatasha@mail.ru.

Kirillov Vitaliy Yur'evich – Candidate of chemical Sciences, Associate Professor, Kazakh Research Institute of Forestry and Agroforestry, Shchuchinsk, Republic of Kazakhstan, e-mail: vitaliy.kirillov.82@mail.ru.

✉ – Для контактов/Corresponding author