

Д. Г. Федорова

**АККУМУЛЯЦИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В  
ЛИСТЬЯХ *SORBUS AUCUPARIA* L.  
В УСЛОВИЯХ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ  
(НА ПРИМЕРЕ г. ОРЕНБУРГА)**

D. G. Fedorova

**ACCUMULATION OF HEAVY METALS IN THE LEAVES  
OF *SORBUS AUCUPARIA* L. IN THE URBAN  
ENVIRONMENT (ON THE EXAMPLE OF ORENBURG)**

**Аннотация.** Деревья, произрастающие на территории города, играют важную роль в очистке атмосферы от различных токсикантов, находящихся в окружающей среде. Вид *Sorbus aucuparia* L. исследован как возможный биоиндикатор загрязнения воздуха тяжелыми металлами и токсичными элементами в городе Оренбурге. Воздействие загрязнения воздуха анализировали путем оценки морфометрических параметров и химического анализа листьев. Листья рябины обыкновенной были собраны на территории города Оренбурга в районах с разной интенсивностью антропогенного воздействия. Проведено сравнение концентраций Cd, Cu, Pb, Zn и Fe в пробах листьев городских районов с различным антропогенным воздействием. По полученным результатам выявлено, что накопление тяжелых металлов в растениях города происходит интенсивнее, чем в контрольных образцах, и уменьшается в ряду Cd > Cu > Pb > Zn > Fe. Проведенное исследование показало, что биомониторинг может использоваться для изучения загрязнения окружающей среды и может выступать в качестве экологически устойчивого инструмента для рационального природопользования в городских районах.

**Ключевые слова:** *Sorbus aucuparia* L.; аккумуляция; биоиндикация; площадь листовой пластинки; тяжелые металлы.

**Abstract.** In urban areas, trees play an essential role to cleanse the airborne toxic pollution in the environment. The species *Sorbus aucuparia* L. was studied as a biological indicator of toxic heavy metals pollution in the city of Orenburg, Russia. The impact of airborne pollution was assessed by the evaluation of morphometric parameters and the chemical analysis of leaves. The rowan leaves were collected in Orenburg in areas exposed to anthropogenic intervention of various degree. The concentrations of Cd, Cu, Pb, Zn and Fe in leaf samples were compared. It was found that the concentration of heavy metals in plants growing in the city is higher than in the control samples and decreases in the order Cd > Cu > Pb > Zn > Fe. The biological monitoring can be used to study environmental pollution as an environmentally sustainable tool for environmental management in urban areas.

**Key words:** *Sorbus aucuparia* L.; accumulation; bioindication; leaf blade area; heavy metal.

**Сведения об авторе:** Федорова Дарья Геннадьевна; ORCID: 0000-0002-5323-4965, канд. биол. наук, Оренбургский государственный университет, Ботанический сад; Оренбургский государственный педагогический университет, г. Оренбург, Россия, DaryaOrlova24@rambler.ru.

**About the authors:** Fedorova Darya Gennadevna; ORCID: 0000-0002-5323-4965, Ph.D., Orenburg State University, Botanical garden, Orenburg state pedagogical University, Orenburg, Russia, DaryaOrlova24@rambler.ru.

**Введение**

Экологические факторы урбанизированных территорий имеют существенные отличия от тех, которые оказывают влияние на растительные организмы в естественной среде. Вследствие большой площади контакта с окружающей средой растения становятся особо уязвимы по отношению к различным воздействиям, в том числе и к загрязнителям, так как через контактирующую поверхность кроме жизненно важных веществ поглощаются и всевозможные токсиканты. Особо велика поглотительная способность листовых пластинок: на поверхности может оседать большое количество пылевых частиц, а через устьица поллютанты проникают внутрь самого листа [2; 11–14].

Поглощенные растением из окружающей среды загрязнители, аккумулируясь в клетках и тканях, существенно влияют на физиологическое состояние, а также на морфологию растительного организма. Наиболее уязвимы в этом отношении многолетние растения, так как токсические вещества накапливаются в организме непрерывно на протяжении нескольких лет. Накопление вредных для растительного организма веществ влияет и на фенологию, смещая наступление фенофаз в ту или иную сторону. В частности, у листопадных растений наблюдается раннее пожелтение и опадание листьев вследствие накопления в них токсических веществ. В итоге вегетационный период растений заметно укорачивается. Нарушается и водный режим растений, так как под действием поллютантов нарушается целостная

организация устьичного аппарата – наступает так называемый «паралич» устьичных клеток, т. е. клетки теряют способность регулировать ширину устьичной щели. Вследствие этого устьица постоянно широко открыты, что в свою очередь способствует увеличению расхода воды при транспирации.

Особую группу загрязнителей, оказывающих негативное влияние на растительный организм, представляют тяжелые металлы (ТМ). Те или иные ТМ присутствуют в растительном организме в определенном количестве, тем самым обеспечивая им нормальную жизнедеятельность [8]. Однако постепенное увеличение концентрации ТМ приводит к тому, что они из категории полезных переходят в группу токсичных для организма веществ. Превышение допустимых концентраций металлов в растениях приводит не только к отклонению в их развитии, но и к гибели растительного организма [12].

Разные группы металлов оказывают особое воздействие на различные процессы жизнедеятельности растений. Например, повышенное содержание цинка и кадмия снижает рост клеток, а накопление свинца приводит к аномалиям митотических процессов, что также угнетает рост растительного организма. Кроме того, некоторые металлы, являясь химическими аналогами других веществ, попадая в растение, замещают жизненно необходимые для растения элементы ферментативной системы, тем самым нарушая их работу (например, кадмий является химическим аналогом цинка) [7].

Одним из главных источников загрязнения в городах является автомобильный транспорт. ТМ могут поступать в окружающую среду как в результате работы самого транспорта, так и в результате истирания дорожного покрытия. Как следствие в окружающую среду поступают такие металлы как цинк, никель, свинец, алюминий, кадмий, железо и другие. Наиболее токсичными веществами этой группы считаются свинец и кадмий [7].

В настоящее время проводится большое количество научных мероприятий мониторинга экологического состояния окружающей среды, среди которых важное место принадлежит фитотестированию – биологическому контролю с использованием в качестве индикатора высших растений [4; 9].

Целью исследования было выявление изменчивости в накоплении ТМ растениями вида *Sorbus aucuparia* L., произрастающими вдоль автомобильных дорог на территории г. Оренбурга в сравнении с контрольным образцом.

#### Условия, объект и методика исследования

Исследования проводились на территории г. Оренбурга. Оренбург – крупный административный центр Оренбургской области, расположенный в Южном Предуралье. Для климата характерна резкая выраженность климатических сезонов, которые различны по изменению режима тепла и влаги. Низкая влажность воздуха обусловлена высокими летними температурами в сочетании с небольшим количеством атмосферных осадков, что ведет к неблагоприятным периодам засухи на территории города. Характерны для климата и низкие зимние температуры, а также позднеосенние и раннеосенние заморозки [14].

Оренбургская область находится в числе лидеров среди субъектов ПФО по степени загрязненности окружающей среды. За последнее десятилетие уровень загрязнения атмосферного воздуха в Оренбурге характеризуется как «высокий», при этом показатель индекса загрязнения варьирует от 5,1 ед. до 8,8 ед. Огромную роль в загрязнении играет автомобильный транспорт, количество которого увеличивается ежегодно. Так, например, число легковых автомобилей в период с 2000 по 2017 гг. увеличилось более чем в два раза (табл. 1.) [6].

Таблица 1

#### Наличие транспортных средств в Оренбургской области

	2000	2005	2010	2015	2016	2017
Грузовые транспортные средства: грузовые автомобили (включая пикапы и легковые фургоны) – всего	48 806	51 461	87 706	131 485	133 675	134 214
в том числе в организациях всех видов экономической деятельности	28 091	18 162	12 442	9 614	7 509	7 313
пассажирские транспортные средства:						
автобусы общего пользования	2 344	1 100	1 174	907	1 018	942
легковые автомобили – всего	301 844	379 347	526 615	678 400	710 981	740 990

Объект исследования – *Sorbus aucuparia* L. – дерево, характеризующееся как достаточно декоративное и экологически пластичное, вследствие чего часто используется в озеленении г. Оренбурга (как одиночные, так и групповые посадки). В качестве условного контроля использовались растения рябины, произрастающей на территории Ботанического сада Оренбургского государственного университе-

та. Выбор контроля обусловлен нахождением Ботанического сада на значительном удалении от крупных автодорог города.

Сбор листьев осуществлялся в конце вегетационного периода, с растений, произрастающих вдоль автодорог на улицах с интенсивным потоком транспорта: ул. Чичерина, Шевченко, Туркестанская, Монтажник, Хабаровская, Постникова, Пролетарская, Терешковой. Данные улицы принадлежат к четырем административным районам города: Центральный (№ 1), Промышленный (№ 2), Ленинский (№ 3), Дзержинский (№ 4). Исследования по выявлению содержания ТМ проводились на базе испытательной лаборатории Государственного центра агрохимической службы «Оренбургский» посредством испытания на спектрофотометре ААС-4. При этом определяли содержание 5 металлов (Cu, Zn, Pb, Fe, Cd), два из которых (Pb, Cd) обладают высокой токсичностью.

Площадь листовых пластинок определяли с использованием весового метода в модификации Л. В. Дорогань (1994).

Для более точной и наглядной оценки накопления в листьях ТМ использовался показатель концентрации (показатель загрязнения) тяжелого металла (ПК):  $ПК = (C_o - C_k) / C$ , а также суммарный показатель концентрации (СПК):  $СПК = \Sigma(C_o - C_k) / C_k$ , где  $C_k$  – содержание химического элемента в листьях контрольной зоны (Ботанический сад),  $C_o$  – содержание химического элемента в листьях растений придорожных зон [5]. Статистическую обработку данных проводили с применением программы Microsoft Excel и Statistica 6.0.

### Результаты исследований

*Sorbus aucuparia* L. – листопадное дерево. Листья рябины обыкновенной непарноперистосложные, состоящие в среднем из 13 зубчатых по краю листочков. Листья слегка опушенные, сверху окраска матово-зеленая, снизу – чуть светлее.

При сборе биоматериала было отмечено наличие большого количества поврежденных листовых пластинок. Для них было характерно присутствие хлоротичных участков и желтоватого оттенка, т. е. у деревьев наблюдалась так называемая «пестролистность». У многих деревьев кроме хлороза отмечались участки отмершей ткани в различных местах листовой пластинки (на верхушке, по краям и между жилками). По мере увеличения участков отмершей и высохшей ткани растение принимает вид пораженного ржавчиной. В связи с этим сбор был достаточно затруднен и занимал значительное время, так как для проведения морфометрических измерений, а также биохимического анализа необходимо производить сбор неповрежденных листьев с целой листовой пластинкой.

Анализируя данные, полученные в результате биохимического анализа, нельзя прийти к однозначному выводу о том, что контрольные образцы обладают лучшими показателями по накоплению ТМ, так как ряд значений содержания металлов в контрольном образце превышает таковые в образцах городской среды. И поэтому невозможно однозначно сделать вывод об экологической «успешности» контроля. Так, например, содержание свинца в контрольном образце превышает содержание в образцах, собранных на территории города. Однако, необходимо обратить внимание на показатели площадей листовых пластинок (табл. 2). Как известно [1], загрязнение окружающей среды, угнетая растение, негативно влияет на его морфометрические показатели. Как следствие, под воздействием поллютантов снижается площадь листовых пластинок. Исходя из вышесказанного, можно проследить четкое различие в показателях площадей у исследуемых образцов. Наибольшая площадь характерна для контрольных образцов – 118,3 см<sup>2</sup>, в экологических условиях города этот показатель в два раза меньше, и в среднем составляет 56,1 см<sup>2</sup>. Поскольку имеется такое сильное различие по показателю площадей листовых пластинок, целесообразно рассчитать отношение накопленных металлов к этому показателю и сравнить уже полученные числовые данные. Условно назовем эти значения как «содержание ТМ на 1 см<sup>2</sup> площади листа» (рис. 1). Исходя из полученных значений, очевидно, что в контрольных образцах накоплено значительно меньше ТМ по сравнению со всеми остальными образцами.

Таблица 2

### Содержание тяжелых металлов в листьях *Sorbus aucuparia* L.

Район исследования	S листовой пластинки, см <sup>2</sup>	Содержание ТМ, мг/кг				
		Cu	Zn	Pb	Fe	Cd
№ 1	51,99±3,1	2,05±0,5	7,44±1,5	0,06±0,02	55,8±12,0	0,034±0,011
№ 2	54,29±5,47	2,5±0,7	12,4±2,5	0,06±0,02	95,7±21,5	0,025±0,008
№ 3	53,32±3,0	1,85±0,5	6,5±1,3	0,08±0,03	100,5±24,2	0,03±0,01
№ 4	65,79±1,8	3,0±0,8	14,5±3,0	0,07±0,02	118,7±27,8	0,04±0,014
Ср. показатель	56,11±3,3	2,35±0,5	10,23±3,2	0,06±0,008	91,95±18,1	0,03±0,005
Контроль	118,3±6,35	2,1±0,5	12,5±2,6	0,08±0,03	98,5±22,7	0,012±0,004

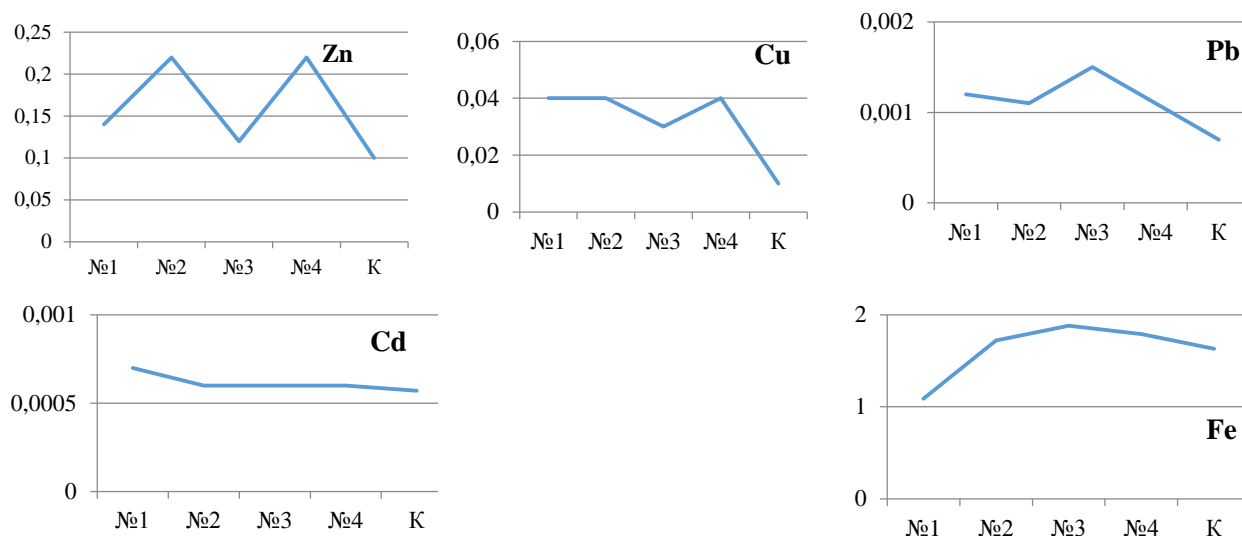


Рис. 1. Содержание тяжелых металлов в листьях *Sorbus aucuparia* L. на 1 см<sup>2</sup>:  
 № 1 – Центральный район, № 2 – Промышленный, № 3 – Ленинский, № 4 – Дзержинский, К – контроль

Суммарный показатель загрязнения ТМ у растений города варьирует в пределах от 0,67 до 5,8. Наиболее высокий суммарный показатель загрязнения ТМ отмечается у растений рябины обыкновенной на ул. Монтажников (5,8). Следующие по уровню СПК – растения с ул. Хабаровской (1,4) и Пролетарской (1,11). Показатели СПК в данных случаях достаточно высокие за счет большого содержания в листьях этих растений кадмия по сравнению с контрольным образцом.

У растений, произрастающих на ул. Чичерина и Туркестанской, отмечается отрицательное значение СПК: 0,36 и 0,67 соответственно. Такой низкий показатель содержания ТМ в первую очередь связан с обеднением листьев данных растений железом, цинком и медью.

По показателю СПК все исследуемые растения можно расположить в следующий убывающий ряд:

– по улицам: Монтажников > Хабаровская > Пролетарская > Терешковой > Шевченко > Постникова > Чичерина > Туркестанская;

– по административным районам: Дзержинский > Промышленный > Ленинский > Центральный.

Если рассматривать показатель загрязнения по каждому металлу в среднем по городу (по сравнению с контрольным образцом), то исследуемые ТМ по степени интенсивности накопления их листьями *Sorbus aucuparia* L. в условиях Оренбурга можно расположить в следующий убывающий ряд: Cd > Cu > Pb > Zn > Fe.

Практически во всех районах (кроме центрального) у исследуемых организмов наблюдается высокое содержание железа в листьях. Вероятнее всего это связано с важной ролью данного вещества в процессах дыхания и фотосинтеза у растений. Таким образом, накапливая его в большом количестве, растения пытаются усилить процессы метаболизма, тем самым нормализовать процессы жизнедеятельности в условиях интенсивной техногенной нагрузки.

#### Выводы

В ходе исследований в отношении фитоиндикационной способности растений рябины обыкновенной были проведены анализ морфометрических показателей листовых пластинок и биохимический анализ содержания ТМ в листьях данных образцов. Морфометрический анализ – определение площади листовой пластинки – показал сильное отличие площади у контрольных образцов от площади у образцов, произрастающих в черте города. Прослеживается уменьшение площади листьев у растений города, что связано с увеличением техногенной нагрузки и ухудшением экологических условий урбосреды в сравнении с ботаническим садом.

Степень содержания ТМ в листьях города значительно выше, чем у контрольных образцов, что доказывает проведенный биохимический анализ. В первую очередь негативное влияние на растение в данном случае оказывают выбросы от автотранспорта. Наиболее загрязненной территорией города согласно полученным данным является Дзержинский район, а улицей – улица Монтажников. Кадмий – наиболее аккумулируемый металл для данного растения, что естественно пагубно сказывается на жизнедеятельности данного вида в условиях техногенной нагрузки.

Итак, согласно проведенным исследованиям, подтверждается возможность использования вида рябина обыкновенная в качестве вида-индикатора экологического состояния урбанизированных территорий. Планируется расширение спектра исследуемых химических загрязнителей, а также поиск новых видов-индикаторов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бессонова Н. В. Использование метода биоиндикации для оценки экологического состояния различных районов в г. Хабаровске // *Леса России в XXI веке*. 2009. С. 11–13.
2. Горышина Т. К. Растение в городе. Л., 1991.
3. Дорогань Л. В., Филиппов В. П. Экология. Воронеж, 1995.
4. Елисеева М. В., Укенов Б. С. Фитотоксичность почв ботанического сада Оренбургского государственного университета // *Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры*. 2016. С. 1316–1320.
5. Зокиров Р. С., Неверова О. А. Оценка аккумулирующей способности древесных растений в отношении тяжелых металлов в примыкающих зонах г. Худжанда // *Современные проблемы науки и образования*. 2012. № 5. С. 293–293.
6. Мартынов А. П. Статистический ежегодник Оренбургской области. Оренбург, 2012.
7. Титов А. Ф., Таланова В. В., Казнина Н. М. Физиологические основы устойчивости растений к тяжелым металлам. Петрозаводск, 2011.
8. Турлибекова Д. М., Вельц Н. Ю. Аккумуляция тяжелых металлов в надземной части высших растений, произрастающих в г. Орске и его окрестностях // *Вестник Оренбургского государственного университета*. 2011. № 12(131). С. 378–380.
9. Федорова Д. Г. К вопросу о биомониторинге окружающей среды в Оренбуржье // *Сборник материалов международных научно-практических конференций*. М., 2019. С. 199–210.
10. Чибилев А. А. Природа Оренбургской области (Часть I. Физико географический и историко географический очерк). Оренбург, 1995.
11. Mitchell R., Maher B. A., Kinnersley R. Rates of particulate pollution deposition onto leaf surfaces: temporal and inter-species magnetic analyses // *Environmental Pollution*. 2010. Vol. 158. № 5. P. 1472–1478. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2009.12.029>
12. Orlova D. G., Nazarova N. M. Phytoindication as a way to evaluate the level of environmental pollution in Orenburg // *8th International Scientific Conference "Applied Sciences in Europe: tendencies of contemporary development": Papers of the 8th International Scientific Conference*. Stuttgart. 2014. P. 9.
13. Petrova S., Yurukova L., Velcheva I. Possibilities of using deciduous tree species in trace element biomonitoring in an urban area (Plovdiv, Bulgaria) // *Atmospheric Pollution Research*. 2014. Vol. 5. № 2. P. 196–202. <https://doi.org/10.5094/APR.2014.024>
14. Serbula S. M., Kalinovic T. S., Ilic A. A., Kalinovic J. V., Steharnik M. M. Assessment of airborne heavy metal pollution using *Pinus* spp. and *Tilia* spp // *Aerosol Air Qual Res*. 2013. Vol. 13. № 2. P. 563–573. <https://doi.org/10.4209/aaqr.2012.06.0153>

#### REFERENCES

1. Bessonova, N. V. (2009). Ispol'zovanie metoda bioindikatsii dlya otsenki ekologicheskogo sostoyaniya razlichnykh raionov v g. Khabarovske. In *Lesa Rossii v XXI veke*, 11-13. (In Russian)
2. Goryshina, T. K. (1991). Rastenie v gorode. Leningrad. (In Russian)
3. Dorogan, L. V., & Fillipov, V. P. (1995). Ekologiya. Voronezh. (In Russian)
4. Eliseeva, M. V., & Ukenov, B. S. (2016). Fitotoksichnost' pochv botanicheskogo sada Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta. In *Universitetskii kompleks kak regional'nyi tsentr obrazovaniya, nauki i kul'tury*, 1316-1320. (In Russian)
5. Zokirov, R. S., & Neverova, O. A. (2012). Otsenka akumuliruyushchei sposobnosti drevesnykh rastenii v otnoshenii tyazhelykh metallov v primagistral'nykh zonakh g. Khudzhanda [Estimation of capacity of woody plants in respect of heavy metals in areas located along the roads Khujand city]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*, (5), 293-293. (In Russian)
6. Martynov, A. P. (2012). Statisticheskii ezhegodnik Orenburgskoi oblasti. (In Russian)
7. Titov, A. F., Talanova, V. V., & Kaznina, N. M. (2011). Fiziologicheskie osnovy ustojchivosti rastenij k tyazhelym metallam [Physiological basis of plant resistance to heavy metals]. Petrozavodsk. (In Russian)
8. Turlibekova, D. M., & Welz N. U. (2011). Akkumulyatsiya tyazhelykh metallov v nadzemnoi chasti vysshikh rastenii, proizrastayushchikh v g. Orske i ego okrestnostyakh [Accumulation of heavy metals in the elevated part of the higher plants growing in Orsk and its vicinities]. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta*, (12 (131)). (In Russian)
9. Fedorova, D. G. (2019). K voprosu o biomonitoringe okruzhayushchei sredy v Orenburzh'e. In *Sbornik materialov mezhdunarodnykh nauchno-prakticheskikh konferentsii*, 199-210. (In Russian)
10. Chibilev, A. A. (1995). Priroda Orenburgskoi oblasti (Chast' I. Fiziko geograficheskii i istoriko geograficheskii ocherk). Orenburg. (In Russian)
11. Mitchell, R., Maher, B. A., & Kinnersley, R. (2010). Rates of particulate pollution deposition onto leaf surfaces: temporal and inter-species magnetic analyses. *Environmental Pollution*, 158(5), 1472-1478. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2009.12.029>
12. Orlova, D. G., & Nazarova, N. M. (2014). Phytoindication as a way to evaluate the level of environmental pollution in Orenburg. In *8th International Scientific Conference "Applied Sciences in Europe: tendencies of contemporary development": Papers of the 8th International Scientific Conference*. Stuttgart, 9.

13. Petrova, S., Yurukova, L., & Velcheva, I. (2014). Possibilities of using deciduous tree species in trace element biomonitoring in an urban area (Plovdiv, Bulgaria). *Atmospheric Pollution Research*, 5(2), 196-202. <https://doi.org/10.5094/APR.2014.024>

14. Serbula, S. M., Kalinovic, T. S., Ilic, A. A., Kalinovic, J. V., & Steharnik, M. M. (2013). Assessment of airborne heavy metal pollution using *Pinus* spp. and *Tilia* spp. *Aerosol Air Qual Res*, 13(2), 563-573. <https://doi.org/10.4209/aaqr.2012.06.0153>

---

Федорова Д. Г. Аккумуляция тяжелых металлов в листьях *Sorbus aucuparia* L. в условиях городской среды (на примере г. Оренбурга) // Вестник Нижневартковского государственного университета. 2020. № 1. С. 55–60. <https://doi.org/10.36906/2311-4444/20-1/09>

Fedorova, D. G. (2020). Accumulation of heavy metals in the leaves of *Sorbus aucuparia* L. in the urban environment (on the example of Orenburg). *Bulletin of Nizhnevartovsk State University*, (1). 55–60. (In Russian) <https://doi.org/10.36906/2311-4444/20-1/09>

---

дата поступления: 02 июля 2019 г.

дата принятия: 25 сентября 2019 г.

© Федорова Д.Г.