УДК 574.24:574.21:58.087 DOI: 10.33075/2220-5861-2019-4-114-122

ПЕРСПЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛИСТВЕННЫХ МНОГОЛЕТНИХ ДРЕВЕСНО-КУСТАРНИКОВЫХ РАСТЕНИЙ В БИОМОНИТОРИНГЕ УРБОСРЕДЫ (ОРЕНБУРГ, РОССИЯ)

Д.Г. Федорова, Н.М. Назарова

Оренбургский государственный университет,
РФ, г. Оренбург, ул. Терешковой, 134в
E-mail: DaryaOrlova24@rambler.ru, Nazarova-1989@yandex.ru

В рамках данной статьи изучены морфометрические параметры, а также проведен анализ степени аккумуляционной способности тяжелых металлов листовыми пластинками *Syringa vulgaris* и *Crataegus sanguinea*, произрастающих на территории четырех административных районов города Оренбурга (Россия), в зависимости от экотоксического состояния окружающей среды. Установлено, что величина площади листа обоих видов обладает наибольшей изменчивостью в зависимости от точки сбора проб, поэтому может выступать в качестве критерия, обладающего наибольшей чувствительностью для сравнительной оценки степени антропогенной нагрузки. Выявлены существенные различия в аккумуляционной способности тяжелых металлов, а также степени влияния концентрации различных химических элементов на морфометрические параметры листовых пластинок в зависимости от таксономической принадлежности конкретного вида растения.
Ключевые слова: *Crataegus sanguinea*, *Syringa vulgaris*, биомониторинг, листовые пластинки, морфометрические параметры, тяжелые металлы, фитоиндикация.

Поступила в редакцию: 05.07.2019. После доработки: 12.07.2019.

Введение. С каждым годом увеличивающиеся темпы техногенного загрязнения наносят непоправимый вред городской среде, которая по многим аспектам отличается от природной [1]. Основная проблема – загрязнение урбосреды выхлопными газами автомобилей и выбросами промышленных предприятий, в результате которого в атмосферный воздух попадает огромное количество токсических веществ [2].

Согласно литературным источникам [3–5] листовая пластинка растений наиболее чувствительна к воздействию загрязняющих веществ. При увеличении степени загазованности атмосферного воздуха наблюдается снижение значений морфометрических параметров листа.

Кроме изменения морфометрии в ответ на действие загрязняющих веществ, растительные организмы, произрастающие в городской среде, способны адсорбировать и аккумулировать из атмосферы различного рода поллютанты [6–9]. Тяжелые металлы (ТМ) занимают среди широкого круга токсических веществ особое положение, т.к. они со временем не подвергаются физико-химической или биологической деструкции и обладают ярко выраженной способностью накапливаться в поверхностном слое почв и вегетативных органах растений, изменяя их свойства.

Ряд ТМ участвуют в процессах метаболизма [10–12], а также имеют множество других биологически важных функций и являются необходимыми для нормального функционирования живых систем. Однако, при увеличении концентрации этих химических элементов в клетках растений возможен их переход в разряд токсичных. Следовательно, если растительные организмы способны к активному поглощению поллютантов из атмосферного воздуха, они могут использоваться как индикаторы степени загрязненности окружающей природной среды. Поэтому, в настоящее время особый научный интерес представляют исследования, направленные на изучение изменчивости морфо-биологических свойств растений под воздействием ТМ.

Такие элементы как железо, цинк и медь являются необходимыми для поддержания нормальных процессов жизнедеятельности в организме растения. Однако, избыток/дефицит каждого из них может наносить вред [13–20].

Изменение концентраций рассматриваемых в рамках данной статьи химических элементов может по-разному сказываться на организме растения, причем очень важен момент перехода содержания того или иного металла в клетках из состояния физиологической нормы в токсическое. Это явление не касается содержания свинца и кадмия, т.к. эти химические элементы не способствуют поддержанию нормальных процессов жизнедеятельности и являются исключительно токсичными.

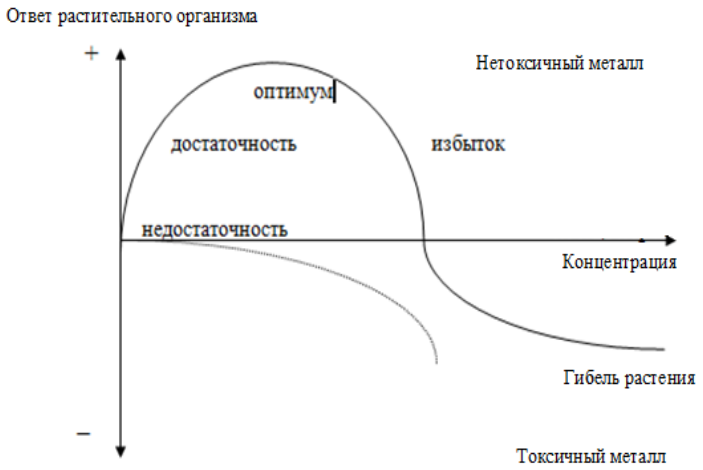

Рис. 1. Реакция растительного организма на возрастание концентрации физиологически необходимого (сплошная линия) и токсичного (пунктирная линия) металла [19]

Fig. 1. The response of a plant organism to an increase of physiological concentration necessary (solid line) and toxic (dotted line) metal [19]

Из графика видно (рис. 1), что при увеличении концентрации физиологически необходимых в допустимых концентрациях для растения элементов (Cu, Zn и др.) для нормального осуществления процессов жизнедеятельности, ответ на поступление данных металлов в растительный организм становится положительным. По мере накопления (увеличения концентрации) этих химических элементов первоначальный метаболически положительный эффект влияния становится отрицательным, и, соответственно, металл переходит из категории физиологически необходимого в категорию токсичного [19].

Тяжелые металлы, не оказывающие положительного эффекта на растения (истинно токсичные: Cd, Pb), угнетают процессы метаболизма. Отрицательный их эффект проявляется не сразу, что является доказательством способности живого организма противостоять невысоким концентрациям токсичного вещества без существенного для себя вреда. Процесс сдерживания влияния поллютанта на растение может продолжаться до тех пор, пока не будет преодолен рубеж пороговых значений. После этого, при дальнейшем увеличении содержания химического элемента, вероятно, произойдет гибель растительного организма.

Цель исследования – определить степень воздействия аэрополлютантов на морфометрические и биохимические показатели исследуемых видов, произрастающих в разных районах г. Оренбурга.

Объекты исследования: сирень обыкновенная (*Syringa vulgaris* L.) и боярышник кроваво-красный (*Crataegus sanguinea* Pall.).

Сирень обыкновенная – листопадный многоствольный кустарник широко распространенный на территории Оренбургской области. Используется в качестве декоративного растения для озеленения парков, скверов, частных придомовых территорий. Активно используется для создания защитных насаждений вблизи крупных городских автомагистралей.

Боярышник кроваво-красный – вид листопадного плодово-декоративного древесно-кустарникового растения, не менее широко распространенный на территории всей Оренбургской области. Молодые кусты хорошо формируются,

поэтому этот вид активно используется для создания живых изгородей, особенно в посадках вблизи автомобильных дорог.

Материалы и методы. Листовые пластинки отбирали с растений, произрастающих вдоль крупных автомагистралей в четырех административных районах г. Оренбурга с той стороны растения, которая обращена к проезжей части, считая, что чем ближе к автодороге, тем больше соприкосновение листа с химическими веществами, выделяемыми транспортом. «Условным» контролем считали листовые пластинки, собранные с растений, произрастающих на территории Ботанического сада.

Выбор контроля обусловлен расположением Ботанического сада на значительном удалении от крупных транспортных артерий (более 1000 м) между просп. Победы и ул. Терешковой. Как известно [21], максимальная концентрация поллютантов отмечается на придорожной территории; повышенные концентрации загрязняющих веществ регистрируется на расстоянии до 100 м от дороги, далее этот уровень значительно снижается. Это подтверждается и исследованиями по оценке состояния почв Ботанического сада ОГУ, по результатам которых почва Ботанического сада обладает низкой фитотоксичностью [22, 23]. Улицы г. Оренбурга, где проводился сбор проб, являются крупными автомагистралями и относятся к категории улиц общегородского назначения, соответственно испытывают высокую техногенную нагрузку. Это доказано ранее проведенными исследованиями по степени накопления ТМ в почве на территории различных административных районов г. Оренбурга, по результатам которых выявлено значительное превышение ПДК [24].

Сбор проб листьев для лабораторных исследований осуществляли во II декаде августа, так как к этому времени рост вегетативной массы у растений прекращается, листовые пластинки достигают своих максимальных размеров, а также в клетках мезофилла накапливаются максимальные концентрации различных поллютантов.

Измерение морфометрических параметров листовых пластинок проведено при помощи линейки с точностью до 1 мм. Площадь листовых пластинок определена с использованием весового метода по Л.В. Дорогань [25]. Для этого производился сбор листьев одновременно во всех районах, с последующим высушиванием их в лабораторных условиях, в соответствии с соблюдением правил гербаризации. После чего контур листа переводили на миллиметровую бумагу, а затем очерчивали квадрат, соответствующий длине и ширине листовой пластинки образца. Далее последовательно выполняли следующий ряд действий: вычисление площади квадрата → вырезание и взвешивание квадрата → вырезание и взвешивание контура листа. Взвешивание производилось на электронных весах марки Highland HCB с точностью до 0,001 г. Расчеты производили по формуле

$$S_л = (P_л \cdot S_{кв}) / P_{кв},$$

где $S_л$ – площадь листовой пластинки; $P_л$ – масса бумажного листа; $S_{кв}$ – площадь квадрата бумаги; $P_{кв}$ – масса квадрата бумаги.

Биохимический анализ на содержание пяти ТМ (медь, цинк, железо, кадмий, свинец) проведен на Спектрофотометре AAS-4.

Статистическая обработка данных, полученных в результате исследования, проведена с использованием ПО Statistica 6.0 и пакета Microsoft Office Excel.

Для выявления степени изменчивости морфометрических признаков листовых пластинок в зависимости от уровня техногенного воздействия среды использован коэффициент вариации (C_v). Вариабельность признака может быть очень низкой C_V (≤ 7%), низкой (7–12%), средней (13–20%), высокой (21–40%) и очень высокой (≥ 40%) [26, 27].

Установление связи между взаимным влиянием концентрации металлов друг на друга, а также опосредованного влияния содержания того или иного химического элемента на морфометрические параметры листовых пластинок производили посредством установления корреляционных зависимостей с использованием непараметрического метода (коэффициент Спирмена, R_s). При интерпретации результатов учитывали, что

при r < 0,3 корреляционная зависимость между признаками определяется как слабая, при r = 0,3 - 0,7 – средняя, а при r > 0,7 – сильная, а также, если $t_ф \geq t_{теор}$, – корреляционная связь существенна. Значение r = 0 свидетельствует о полном отсутствии зависимости между величинами, r = +1 и -1 – указывают на полную корреляцию (прямо / обратнопропорциональную соответственно) исследуемых значений. Таким образом, считается, что, чем ближе значение коэффициента корреляции к +1 (-1), тем сильнее связь между двумя величинами.

Полученные результаты. Проведенный анализ листовых пластинок *S. vulgaris* L. показал различие в их морфометрических параметрах, как по районам города, так и в сравнении с условным контролем (табл. 1).

Таблица 1. Морфометрические показатели листовой пластинки *Syringa vulgaris* L. (по районам г. Оренбурга)

Район города	Показатели листовой пластинки					
	длина, см	C_V,%	ширина, см	C_V,%	площадь, см^2	C_V,%
Центральный	5.87±0.3	5	4.17±0.3	8	14.8±1.6	11
Промышленный	5.92±0.4	6	4.05±0.3	8	14.9±2.3	16
Дзержинский	5.91±0.4	7	4.14±0.3	7	15.25±2	13
Ленинский	6.81±0.6	8	3.80±0.3	8	14.7±1.8	12
Контроль	8,0±0.5	6	5.08±0.3	6	25.9±2.6	10

Из табл. 1 видно, что по показателю длины и ширины листа Центральный, Промышленный и Дзержинский районы г. Оренбурга незначительно отличаются между собой. Длина листьев, собранных в Ленинском районе выше данного показателя, зарегистрированного в других районах. Среди всех исследованных проб наибольшая площади листа отмечена у листьев сирени в Дзержинском районе, а показатели этого параметра в других районах относительно одинаковы. Изменчивость листовых пластинок по параметрам длины и ширины листовых пластинок незначительна ($C_v \leq 7\%$), а вот значения площади в пробах варьируют в средней степени (C_v от 11 до 16%).

Наибольшие значения по всем морфометрическим параметрам листовых пластинок отмечены в образцах, собранных с растений, произрастающих на территории ботанического сада ОГУ. Вероятнее всего этот факт является доказательством того, что, чем менее загрязнена среда, в которой произрастают растения сирени, тем более крупные листья образуются на растении. Однако, нельзя исключать влияние абиотических характеристик среды в точках сбора проб.

Если рассматривать все изученные морфометрические показатели листовых пластинок сирени обыкновенной, собранные в разных точках сбора, то возможно построить вариационный ряд по степени уменьшения параметров листьев: Ботанический сад > Ленинский > Промышленный > Дзержинский > Центральный.

При изучении морфометрических параметров листовых пластинок *C. sanguinea* также как и в случае с *S. vulgaris* отмечены изменения в зависимости от точки сбора проб (табл. 2).

Таблица 2. Морфометрические показатели листовой пластинки *C. sanguinea* Pall. (по районам г. Оренбурга)

Район города	Показатели листовой пластинки					
	длина, см	C_V, %	ширина, см	C_V, %	площадь, см^2	C_V, %
Центральный	7,09±0,24	3	6,01±0,06	7	27,44±0,88	18
Промышленный	7,36±0,06	5	6,51±0,18	9	30,69±0,32	20
Дзержинский	7,12±0,05	6	6,5±0,09	6	29,33±0,24	17
Ленинский	7,35±0,21	5	6,55±0,06	8	31,3±1,35	22
Контроль	9,43±0,77	5	8,67±0,65	7	40,2±1,48	15

Из табл. 2 видно, что метрические параметры длины и ширины листовых пластинок по районам города не имеют существенных различий. Однако, листья, собранные с растений *C. sanguinea* в Ленинском районе г. Оренбурга отличаются наибольшей площадью, наименьшей – в Центральном районе.

Показатели длины и ширины листа в каждой собранной пробе по районам города относительно однородны, а вот площадь является более вариабельным параметром (C_V от 15 до 22%).

В точке сбора «условного» контроля листовые пластинки обладают наибольшими значениями среди всех изученных проб, что еще раз доказывает факт возможного влияния повышенных концентраций токсикантов в окружающей среде на линейные показатели листьев.

Вариационный ряд по уменьшению морфометрических параметров листовых пластинок *C. sanguinea* по точкам сбора проб можно представить следующим образом: Ботанический сад > Ленинский > Промышленный > Дзержинский > Центральный.

При рассмотрении вариационных рядов, построенных на основании данных морфометрии листовых пластинок *C. sanguinea* и *S. vulgaris* по точкам сбора проб, становится очевидным факт того, что в зоне «условного» контроля листовые пластинки обоих видов имеют наибольшие значения, однако, по районам города имеются различия. Наибольшие параметры после контроля характерны для листовых пластинок *C. sanguinea* в Ленинском районе, а у *S. vulgaris* – в Центральном, пробы листьев собранных в Промышленном и Дзержинском районах в вариационных рядах занимают одно и то же место по двум изученным видам. Вероятно, это можно объяснить тем, что разные виды растений по-разному реагируют на содержание загрязняющих веществ в атмосферном воздухе, поэтому нами было принято решение провести лабораторные исследования, направленные на определение концентрации ТМ в листовых пластинках изучаемых видов с целью выявления зависимости воздействия определенного химического элемента на биометрические параметры листьев.

В ходе проведения лабораторных исследований установлены концентрации пяти тяжелых металлов в листовых пластинках *S. vulgaris* и *C. sanguinea* (табл. 3), собранных в четырех административных районах г. Оренбурга.

Таблица 3. Содержание ТМ в листьях изучаемых видов растений

Название видов	Содержание тяжелых металлов, мг/кг				
	Cu	Zn	Pb	Fe	Cd
Ленинский район					
C. sanguinea	2,75±0,35	9,45±0,45	0,27±0,18	65,75±3,65	0,042±0,003
S. vulgaris	1,8±0,4	6,0±1,3	0,07±0,02	90,4±20,7	0,01±0,004
Промышленный район					
C. sanguinea	2,25±0,35	8,8±0,6	0,23±0,12	65,9±7,1	0,028±0,01
S.vulgaris	2,0±0,5	7,8±1,6	0,08±0,03	129,7±30,5	0,026±0,009
Центральный район					
C. sanguinea	1,85±0,55	14,2±6,2	0,095±0,005	60,5±10,4	0,052±0,023
S. vulgaris	1,4±0,3	6,3±1,3	0,08±0,03	73,0±16,3	0,01±0,004
Дзержинский район					
C. sanguinea	3,25±0,25	15,55±3,55	0,05±0,01	56,6±5,3	0,079±0,011
S. vulgaris	2,5±0,6	10,8±2,3	0,09±0,05	91,7±21,0	0,028±0,01
Контроль (Ботанический сад)					
C. sanguinea	**1,8±0,4**	**17,4±3,6**	**0,058±0,02**	**50,6±10,7**	**0,055±0,19**
S. vulgaris	**2.1±0.5**	**8.8±1.9**	**0.09±0.03**	**36.6±7.2**	**0.01±0.004**

При анализе данных установлено превышение концентраций следующих ТМ: меди в клетках листа *C. sanguinea* во всех районах, кроме Центрального и у *S.vulgaris* – только в Дзержинском районе; цинка – только в листовых пластинках *S.vulgaris,* собранных в Дзержинском районе; свинца – только в листьях *C. sanguinea* в Центральном районе; железа – во всех пробах у обоих видов растений, концентрация которого значительно превышает показатель контрольного образца; кадмия – в образцах обоих видов растений в Дзержинском районе и у *S.vulgaris* в Промышленном районе.

Рассматривая концентрации всех пяти ТМ в совокупности, для каждого из изученных видов растений предоставляется возможность построить ряд по степени экотоксичности среды г. Оренбурга, в котором районы будут располагаться в последовательности уменьшения техногенной нагрузки, т.е. от наиболее загрязненного к более экологически благоприятному. Для *C. sanguinea* данный ряд выглядит следующим образом: Дзержинский > Центральный > Ленинский > Промышленный > Ботанический сад; для *S.vulgaris:* Дзержинский > Промышленный Ленинский > Центральный > Ботанический сад. Таким образом, по содержанию ТМ всех изученных проб листовых пластинок обоих видов опытных растений определяется самый «грязный» район города – Дзержинский и самый чистый – контроль (Ботанический сад ОГУ).

Так как железо является одним из важнейших химических элементов, оказывающим значительное влияние на процессы дыхания и фотосинтеза у растений, у обоих видов во всех пробах листьев отмечено повышенное его содержание. Вероятно, путем интенсификации процессов метаболизма, растения пытаются обеспечить нормализовать процессы жизнедеятельности в условиях усиливающейся техногенной нагрузки. Согласно литературным источникам [15] медь является антагонистом цинка – эта зависимость подтверждается на примере проб листовых пластинок *C. sanguinea,* собранных по городу. Свинец в большей степени адсорбируется листовыми пластинками *C. sanguinea*, а кадмий – листьями *S.vulgaris*, из чего можно сделать вывод о том, что разные виды растений обладают избирательной аккумуляцией ТМ.

С целью установления степени зависимости накопления одного химического элемента от другого проведена статистическая обработка данных по концентрации ТМ во всех пробах с использованием непараметрического метода анализа (коэффициента корреляции Спирмена). Коэффициенты, отражающие данную закономерность в пробах листовых пластинках *C. sanguinea* (табл. 4) показывают на наличие сильной прямо пропорциональной зависимости между цинком и кадмием (r=0,9), и сильной обратной зависимости между кадмием и свинцом а также кадмием и железом (-0,9). Из чего следует, что кадмий, железо и свинец для данного вида являются антагонистами, таким образом угнетая эффект накопления друг друга в растении. Прямая зависимость между накоплением Zn и Cd, скорее всего, связана с тем, что кадмий является химическим аналогом цинка [19].

Таблица 4. Значения коэффициентов парной корреляции между ТМ в листовых пластинках *C. sanguinea Pall.*

ТМ	Cu			Zn			Pb			Fe			Cd		
	r	$t_{факт}$	$t_{теор}$	r	$t_{факт}$	$t_{теор}$	r	$t_{факт}$	$t_{теор}$	r	$t_{факт}$	$t_{теор}$	r	$t_{факт}$	$t_{теор}$
Cu	-	-	-	-0,3	-0,54	3,04	0	0	3,04	0,3	0,54	3,04	0,1	0,17	3,04
Zn	-0,3	-0,54	3,04	-	-	-	-0,8	-2,31	3,04	-1	-	3,04	**0,9**	**3,57**	**3,04**
Pb	0	0	3,04	-0,8	-2,31	3,04	-	-	-	0,8	2,31	3,04	**-0,9**	**-3,56**	**3,04**
Fe	0,3	0,54	3,04	-1	-	3,04	0,8	2,31	3,04	-	-	-	**-0,9**	**-3,57**	**3,04**
Cd	0,1	0,17	3,04	**0,9**	**3,57**	**3,04**	**-0,9**	**-3,56**	**3,04**	**-0,9**	**-3,57**	**3,04**	-	-	-

Таблица 5. Значения коэффициентов парной корреляции между ТМ в листовых пластинках *S.vulgaris* L.

ТМ	Cu			Zn			Pb			Fe			Cd		
	r	$t_ф$	$t_{теор}$	r	$t_ф$	$t_{теор}$	r	$t_ф$	$t_{теор}$	r	$t_ф$	$t_{теор}$	r	$t_ф$	$t_{теор}$
Cu	-	-	-	**0,9**	**3,57**	**3,04**	0,79	2,23	3,04	0,20	0,35	3,04	0,67	1,56	3,04
Zn	**0,9**	**3,57**	**3,04**	-	-	-	0,95	5,19	3,04	0,10	0,17	3,04	0,67	1,56	3,04
Pb	0,7	2,23	3,04	**0,95**	**5,19**	**3,04**	-	-	-	-0,21	-0,37	3,04	0,41	0,78	3,04
Fe	0,2	0,35	3,04	0,10	0,17	3,04	-0,21	-0,37	3,04	-	-	-	0,78	2,17	3,04
Cd	0,7	1,56	3,04	0,67	1,56	3,04	0,4	0,78	3,04	0,78	2,17	3,04	-	-	-

У *S. vulgaris* (табл. 5) прослеживается сильная прямая зависимость между цинком и медью (r=0,90), и цинком и свинцом (r=0,95). В данном случае можно говорить о том, что, у *S.vulgaris* такие металлы как цинк и медь зависят друг от друга и оказывают прямое влияние на увеличение концентрацию друг друга в листьях. В случае с отношением цинка и свинца, либо для них характерен сходный с вышеописанным эффект накопления, что маловероятно, либо увеличение их концентрации связано с увеличением площади листовой пластинки (табл. 6).

Таблица 6. Значения коэффициентов парной корреляции «ТМ – морфометрический параметр листа» у растений *S.vulgaris* L.

Метрические данные / ТМ	Длина			Ширина			Площадь		
	r	$t_ф$	$t_{теор}$	r	$t_ф$	$t_{теор}$	r	$t_ф$	$t_{теор}$
Cu	0,3	0,54	3,04	0,2	0,35	3,04	0,8	2,31	3,04
Zn	0	0	3,04	0,5	1,0	3,04	**0,9**	**3,57**	**3,04**
Pb	0,05	0,09	3,04	0,74	1,89	3,04	**0,95**	**5,19**	**3,04**
Fe	-0,3	-0,54	3,04	-0,7	-1,7	3,04	-0,2	-0,35	3,04
Cd	-0,33	-0,61	3,04	-0,22	-0,39	3,04	0,33	0,61	3,04

Что касается зависимости между морфометрическим параметрами листьев и содержанием ТМ, то кроме зависимости между свинцом и площадью у сирени также прослеживается прямая зависимость между цинком и площадью листьев по всем исследуемым объектам. Соответственно, чем больше площадь листовой пластинки у данного вида, тем больше в них содержание Zn и Pb. У *C. sanguinea* существенной зависимости между этими показателями выявлено не было, то есть содержание ТМ не имеет связи с морфометрией листьев. Следовательно, у данного вида целесообразно анализировать содержание ТМ независимо от морфометрии.

Заключение. Виды растений, принадлежащих к разным таксономическим категориям, неодинаково реагируют на воздействие одних и тех же загрязняющих веществ. Поэтому для повышения надежности экологической оценки урбосреды целесообразно использовать растения разных видов, а также применять несколько методов биомониторинга.

По результатам исследования выявлена закономерность, проявляющаяся в изменчивости морфометрических параметров листовых пластинок обоих исследованных видов растений в зависимости от уровня техногенного загрязнения среды, в которой они произрастают.

Степень накопления определенных ТМ в клетках листа зависит от выбранного объекта исследования, таким образом проявляется их избирательная аккумуляция. Избирательная аккумуляция для листьев *C. sanguinea* характеризуется способностью данного вида к повышенной адсорбции из атмосферного воздуха таких химических элементов как медь, свинец и железо, а для *S.vulgaris* – железа, кадмия.

Проанализировав суммарное накопление ТМ в каждом исследуемом районе города, и, сравнив его с контролем, установлено, что повышенные концентрации химических элементов и у сирени обыкновенной и у боярышника кроваво-красного регистрируются в Дзержинском административном районе г. Оренбурга.

Корреляционный анализ выявил сильную зависимость между накоплением в листовых пластинках цинка и кадмия, а также железа и кадмия у *C. sanguinea;* у *S.vulgaris* – цинка и меди и цинка и свинца. Кроме этого, у сирени обыкновенной прослеживается четкая зависимость содержания таких металлов, как цинк и свинец от площади листовой пластинки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Maatoug M. et al.* Biomonitoring of air quality using leaves of tree and lichens in urban environments // Air Pollution-Monitoring, Modelling and Health. IntechOpen, 2012.
2. *Hu Y., Wang D., Wei L., Zhang X., Song B.* Bioaccumulation of heavy metals in plant leaves from Yan′ an city of the Loess Plateau, China // Ecotoxicology and environmental safety. 2014. Vol. 110. P. 82–88.
3. *Barceló J., Poschenrieder C.* Plant water relations as affected by heavy metal stress: a review // Journal of Plant Nutrition. 1990. № 13. P. 1–37.
4. *Moreno E. et al.* Biomonitoring of traffic air pollution in Rome using magnetic properties of tree leaves // Atmospheric Environment. 2003. Vol. 37 (21). P. 2967–2977.
5. *Ларионов М.В.* Содержание тяжелых металлов в листьях городских древесных насаждений // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2012. № 10. С. 71–75.
6. *Tomašević M., Rajšić S., Đorđević D., Tasić M., Krstić J., Novakovi V.* Heavy metals accumulation in tree leaves from urban areas // Environmental Chemistry Letters. 2004. Vol. 2 (3). P. 151–154.
7. *Mitchell R., Maher B.A., Kinnersley R.* Rates of particulate pollution deposition onto leaf surfaces: temporal and interspecies magnetic analyses // Environmental Pollution. 2010. Vol. 158 (5). P. 1472–1478.
8. *Serbula S.M. et al.* 2013. Assessment of airborne heavy metal pollution using Pinus spp. and Tilia spp. // Aerosol Air Qual Res. 2013. Vol. 13 (2). P. 563–573.
9. *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.
10. *Yang H.M., Zhang X.Y., Wang G.X.* Effects of heavy metals on stomatal movements in broad bean leaves // Russian journal of plant physiology. 2004. № 51 (4). P. 464–468.
11. *Pena L.B., Zawoznik M.S., Tomaro M.L., Gallego S.M.* Heavy metals effects on proteolytic system in sunflower leaves // Chemosphere. 2008. № 72 (5). P. 741–746.
12. *Hattab S., Dridi B., Chouba L., Kheder M.B., Bousetta H.* Photosynthesis and growth responses of pea Pisum sativum L. under heavy metals stress // Journal of Environmental Sciences. 2009. Vol. 21 (11). P. 1552–1556.
13. *Clijsters H.V., Assche F.* Inhibition of photosynthesis by heavy metals // Photosynthesis Research. 1985. Vol. 7 (1). P. 31–40.
14. *Ильин В.Б.* Тяжелые металлы в системе почва – растение. Монография. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние. 1991. 151 с.
15. *Титов А.Ф., Таланова В.В., Казина Н.М.* Физиологические основы устойчивости растений к тяжелым

металлам. Петрозаводск: Карельский науч. центр РАН. 2011. 77 с.

16. *Черных Н.А., Черных И.Н.* О качестве растениеводческой продукции при разных уровнях загрязнения почв тяжелыми металлами // Агрохимия. 1995. № 5. С. 97–101.

17. *Эйхенбергер Э.* Взаимосвязь между необходимостью и токсичностью металлов в водных экосистемах // Некоторые вопросы токсичности ионов металлов. М.: Мир. 1993. С. 62.

18. *Магницкий К.П.* Диагностика питания растений по их внешнему виду // Агрохимические методы исследования почв. 1960. С. 360–402.

19. *Титова В.И., Дабахов М.В., Дабахова Е.В.* Экотоксикология тяжелых металлов. Н. Новгород: НГСХА. 2001. 135 с.

20. *Черных Н.А.* Изменение содержания ряда химических элементов в растениях под действием различных количеств тяжелых металлов в почве // Агрохимия. 1991. № 3. С. 68–76.

21. *Тарасова Т.Ф., Гарицкая М.Ю.* Исследование экологических нагрузок на придорожные территории г. Оренбурга // Вестник Оренбургского государственного университета. 2004. № 2. С. 116–121.

22. *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.

23. *Федорова Д.Г.* К вопросу о биомониторинге окружающей среды в Оренбуржье // Окружающая среда и устойчивое развитие регионов: экологические вызовы XXI века: сб. материалов междунар. науч.-практ. конф. (31 января 2019 г.) / отв. ред. А.А. Коротких. М.: Центр научного развития «Большая книга». 2019. С. 199–210.

24. *Чекмарева О.В.* Оценка роли автомобильного транспорта в загрязнении воздуха города Оренбурга // Вестник Оренбургского государственного университета. 2001. № 1. С. 75–77.

25. *Дорогань Л.В., Филиппов В.П.* Экологический практикум. Воронеж: Изд-во Воронеж. обл. ин-та повышения квалификации и переподготовки работников образования. 1994. 39 с.

26. *Мамаев С.А.* Формы внутривидовой изменчивости древесных растений. М.: Наука. 1972. 276 с.

27. *Мастицкий С.Э.* Методическое пособие по использованию программы STATISTICA при обработке данных биологических исследований. Минск: РУП «Ин-т рыбного хозяйства». 2009. 76 с.

PERSPECTIVES OF USING DECIDUOUS PERENNIAL TREES AND SHRUBS IN BIOMONITORING OF THE URBAN ENVIRONMENT (ORENBURG, RUSSIA)

D.G. Fedorova, N.M. Nazarova

Orenburg State University,
RF, Orenburg, Tereshkova St., 134v

In this article, morphometric parameters are studied, and the analysis of the ability of leaf plates of *Syringa vulgaris* and *Crataegus sanguinea* growing on the territories of four administrative districts of the city of Orenburg (Russia) to accumulate heavy metals, depending on the ecotoxic state of the environment is made. It has been established that the size of the leaf area of both species has the greatest variability depending on the sampling point, therefore, it can serve as a criterion with the highest sensitivity for a comparative assessment of the degree of anthropogenic load. Significant differences in the accumulation capacity of the heavy metals, as well as the degree of the effect of the concentration of various chemical elements on the morphometric parameters of leaf blades depending on the taxonomic identity of a particular plant species have been identified.

Keywords: *Crataegus sanguinea*, *Syringa vulgaris*, biomonitoring, leaves, morphometric parameters, heavy metals, phytoindication.