

ЛИСТЬЯ *PADUS AVIUM* (ROSACEAE) ИЗ ТЕХНОГЕННО НАРУШЕННЫХ ЭКОТОПОВ КАК ИСТОЧНИК БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ

Ю.В. Загурская¹, О.В. Коцупий², Т.И. Сиромля³

¹Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН (Институт экологии человека),

650065, Кемерово, просп. Ленинградский, 10, e-mail: syjil@mail.ru

²Центральный сибирский ботанический сад СО РАН,

630090, Новосибирск, ул. Золотодолинская, 101, e-mail: olnevaster@gmail.com

³Институт почвоведения и агрохимии СО РАН,

630090, Новосибирск, просп. Академика Лаврентьева, 8/2, e-mail: tatiana@issa.nsc.ru

В листьях *Padus avium* из различных условий произрастания юга Западной Сибири изучены состав и содержание фенольных соединений и химических элементов. В водно-этанольных экстрактах листьев, проанализированных с помощью метода ВЭЖХ, обнаружено 10 главных компонентов, в том числе: галловая, кофейная, хлорогеновая кислоты, гиперозид, изокверцитрин и астрагалин. Содержание суммы фенольных соединений, среди которых преобладают производные кверцетина, составило от 0.9 до 2.7 %. Элементный химический состав определяли после сухого озоления методом атомно-эмиссионного спектрографического анализа. Образцы из различных экотопов в целом статистически значимо не различаются. Содержание Cd и Pb не превышало ПДК для лекарственного растительного сырья.

Ключевые слова: *Padus avium*, *Prunus padus*, фенольные соединения, флавоноиды, элементный химический состав, антропогенно нарушенные местообитания.

PADUS AVIUM (ROSACEAE) LEAVES FROM THE INDUSTRIALLY DISTURBED ECOTOPES AS A SOURCE OF BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES

Yu.V. Zagurskaya¹, O.V. Kotsupiy², T.I. Siromlia³

¹Federal Research Center on Coal and Coal Chemistry, SB RAS (Institute of Human Ecology),

650065, Kemerovo, prosp. Leningradskiy, 10, e-mail: syjil@mail.ru

²Central Siberian Botanical Garden, SB RAS,

630090, Novosibirsk, Zolotodolinskaya str., 101, e-mail: olnevaster@gmail.com

³Institute of Soil Science and Agrochemistry, SB RAS,

630090, Novosibirsk, prosp. Akad. Lavrent'eva, 8/2, e-mail: tatiana@issa.nsc.ru

The composition and content of phenolic compounds and chemical elements have been studied in *Padus avium* leaves from various growing conditions in the south of Western Siberia. In water-ethanol extracts of leaves, analyzed using the HPLC method, 10 major components were detected, including: gallic, caffeic, chlorogenic acid, hyperoside, isoquercitrin and astragaline. The content of the sum of phenolic compounds, among which quercetin derivatives predominate, was from 0.9 to 2.7 %. The elemental chemical composition was determined after dry ashing by atomic emission spectrographic analysis. As a whole samples from different ecotopes are not different statistically. Cd and Pb content did not exceed the MPC for medicinal plant materials.

Key words: *Padus avium*, *Prunus padus*, phenolic compounds, flavonoids, elemental chemical composition, anthropogenic disturbed habitats.

ВВЕДЕНИЕ

Черемуха обыкновенная (*Padus avium* Mill., в зарубежной литературе – *Prunus padus* L.) – не только ценное пищевое, но и лекарственное растение: плоды черемухи (*Padi avii fructus*) включены в Российскую фармакопею, для сбора сырья используют как дикорастущие, так и культивируемые растения. Для наиболее рационального использования растительных ресурсов рассматривают возможность применения листьев плодовых

растений в качестве дополнительного источника лекарственного сырья.

Черемуха отличается быстрым ростом, неприхотлива и адаптирована к широкому спектру условий: газоустойчивость, относительная теневыносливость и способность произрастать на бедных почвах (Коропачинский, Встовская, 2002) делают ее перспективным объектом выращивания, в том числе с целью озеленения городских территорий и

при рекультивации нарушенных земель. Вместе с тем подобные местообитания могут быть источником растительных ресурсов (Zheljazkov et al., 2008).

Основными действующими веществами *Padus avium* являются фенольные соединения (ФС): содержание в сырье дубильных веществ в пересчете на танин должно составлять не менее 1.7 % (Государственная фармакопея..., 2015).

Большая часть публикаций по химическому составу посвящена изучению плодов черемухи (Roopam et al., 2011). Среди фенольных соединений наиболее изучены флавоноиды (в том числе катехины и антоцианы) и фенолкарбоновые кислоты, также участвующие в регуляции вкусовых свойств (Haslam, 1977; Царенко, 2010). В надземных органах из фенольных соединений идентифицированы лигнаны, церебросиды и флавоноиды (Na et al., 2006). При изучении листьев черемухи выделено шесть фенольных соединений, из них пять – производные флавонолгликозидов. Отмечена прямая корреляция содержания этих веществ с антиоксидантной и антирадикальной активностью образцов, а также количеством проантоцианидинов (Olszewska, Kwapisz, 2011).

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Объект изучения – группы по 4–8 растений *Padus avium* на территории Кедровского угольного разреза г. Кемерово: ненарушенный лугово-степной участок – 1 (Н1); зарастающий отвал угольного карьера (эмбриоземы) – 2 (О), овраг под пологом березово-соснового леса (затенение) – 3 (Н2), а также в окрестностях Кузбасского ботанического сада – 4 (БС) и в новосибирском Академгородке – 5 (НА). Среди изученных растений присутствовали как кустарниковые формы, так и низкорослые деревья.

Материал для исследования – зрелые, неповрежденные листовые пластины *Padus avium*, собранные в июле и начале августа 2015 г. со средней части (на высоте 1.5–2.5 м над землей) и с разных сторон кроны. Каждый образец изучен в 3–5 повторностях. Данные приведены в пересчете на абсолютно сухое вещество.

Состав и содержание основных компонентов фенольных соединений определяли на жидкостном хроматографе “Agilent 1200” с диодноматричным детектором и системой для сбора и обработки хроматографических данных ChemStation (Храмова, Комаревцева, 2008). Для извлечения суммы ФС проводили исчерпывающую горячую экстракцию 70–50%-м этанолом. Для проведения кислотного гидролиза к 0.5 мл водно-этанольного извлечения прибавляли 0.5 мл HCl (2 н) и нагревали на кипящей водяной бане в течение 2 часов. Для твердофазной экстракции использовали концентрирующий патрон (Диапак С18). Вещества разде-

При изучении растений в качестве потенциальных источников лекарственного сырья важным аспектом считается выявление особенностей накопления химических элементов (ХЭ), в том числе потенциально токсичных для человека. Загрязнение растений токсичными элементами и радионуклидами и их поступление из листьев в съедобные части зависит от многих факторов, относящихся к их физическим, химическим и биологическим свойствам (Colle et al., 2009), что делает актуальными вопросы миграции ХЭ из листьев в плоды растений.

Из плодовых растений в Западной Сибири подробно изучено содержание химических элементов в плодах, листьях и стеблях жимолости (Боярских и др., 2015, 2016), а также проведены аналогичные исследования облепихи (Скуридин и др., 2013, 2014), однако информация об элементном химическом составе черемухи, произрастающей в регионе, отсутствует.

Цель работы – оценить содержание фенольных соединений и химических элементов в листьях *Padus avium* на юге Западной Сибири из различных условий произрастания.

ляли на колонке Zorbax SB-C18 в системе метанол: ортофосфорная кислота 0.1 % (32–56 % за 50 мин для водно-спиртового экстракта, 50–52 % за 15 мин для гидролизованного экстракта). В качестве метчиков использовали стандартные образцы галловой, кофейной, хлорогеновой кислот, кверцетина, кемпферола, изорамнетина, гиперозида, изо-кверцетрина и астрагалина (“Sigma”, “Fluka”).

Расчет содержания фенолокислот производили по хлорогеновой кислоте, агликонов флавонолов – по соответствующему стандарту. При расчете содержания флавонолгликозидов применяли коэффициенты для пересчета концентрации на гликозиды – 2.504 для кверцетина и 2.588 для кемпферола (Van Beek, 2002; Юрьев и др., 2003). Пересчет концентрации изорамнетина на соответствующий гликозид проводили по кверцетину.

Элементный химический состав растений определяли после сухого озоления методом атомно-эмиссионного спектрографического анализа (дуговой аргоновый двухструйный плазмотрон (Россия), спектрометр PGS-2 (Германия), многоканальный анализатор эмиссионных спектров (Россия)).

В качестве стандартов использовали образцы травяной муки злаковой (гранулированной) (ТМЗг-01) ОСО № 10-176-2011, листа березы (ЛБ-1) ГСО 8923-2007 и элодеи канадской (ЭК-1) ГСО 8921-2007. Полученные результаты определения ХЭ в стандартах укладывались в их аттестованные значения.

Статистическую обработку экспериментальных данных проводили при помощи пакета программ STATISTICA 6.1. Нормальность распределения исследуемых ХЭ оценивалась по критериям Шапиро–Уилка, проверка гипотез о равенстве дисперсий в нормально распределенных выборках осуществлялась по критериям Кохрена. Для нормально распределенных однородных выборок рассчитывали средние арифметические значения (M), среднеквадратические отклонения (σ) и проводили однофакторный параметрический

дисперсионный анализ. Аномальное распределение выявлено для Al, Cr, Fe, Mn и Na, для данных ХЭ рассчитывались медианы (Med) и квартили (Q_1 – Q_3), а статистическая значимость разницы между анализируемыми группами оценивалась по критериям Краскела–Уоллиса. Критический уровень значимости P во всех случаях принимался равным 0.05. Дополнительно в работе приведены минимальные и максимальные значения выборок (min – max), а также коэффициенты вариации (V).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Литературные данные свидетельствуют о наличии в листьях черемухи гликозидов флавоноидов: кверцетин-3-О-β-D-галактопиранозида, икаризида, изорамнетин 3-О-β-ксилопиранозил-(1→2)-β-галактопиранозида, астрагалина, гиперозида, кверцетин 3-О-β-ксилопиранозил-(1→2)-

β-галактопиранозида, кверцетин 3-О-β-ксилопиранозил-(1→2)-β-глюкопиранозида, а также хлорогеновой кислоты (Na et al., 2006; Olszewska, Kwapisz, 2011).

На основании полученных УФ-спектров и сопоставления времен удерживания пиков веществ

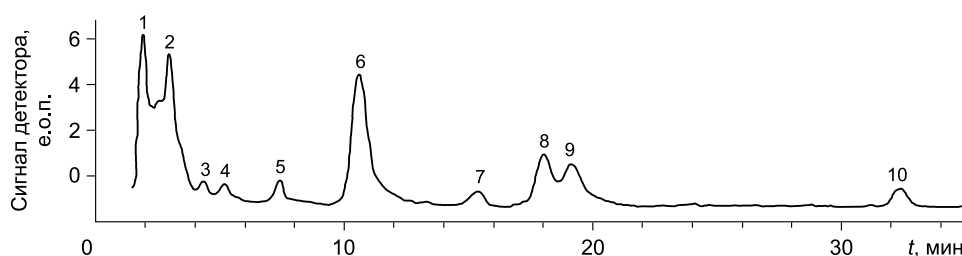


Схема ВЭЖХ-хроматограммы фенольных соединений водно-этанольных экстрактов листьев *Padus avium*: $\lambda = 325$ нм.

Компоненты: 1, 2, 4 – кислота: 1 – галловая, 2 – хлорогеновая, 4 – кофейная; 8 – гиперозид; 9 – изокверцитрин; 10 – астрагалин; 3, 5–7 – неидентифицированный компонент.

Таблица 1

Фенольные соединения водно-этанольных экстрактов листьев *Padus avium* из различных условий произрастания

Номер пика	Соединение	t_R , мин	λ_{max} , нм	Образец				
				Н1	О	Н2	БС	НА
1	Галловая кислота	1.9	216, 272	+	+	+	+	+
2	Хлорогеновая кислота	3.2	217, 242, 325	+	+	+	+	+
3	Фенолокислота № 1	4.2	290			+	+	+
4	Кофейная кислота	5.0	217, 238, 325	+		+	+	+
5	Флавонолгликозид	7.3	255, 355	+	+	+	+	+
6	Гликозид кверцетина	10.5	256, 355	+	+	+	+	+
7	Фенолокислота № 2	15.0	217, 239, 325	+	+	+	+	+
8	Гиперозид	18.0	255, 360	+	+	+	+	+
9	Изокверцитрин	19.0	255, 360	+	+	+	+	+
10	Астрагалин	32.5	266, 350		+			
Содержание соединений, %								
Гликозиды кверцетина ($X \pm 0.05$) *				1.51	1.60	0.46	1.01	2.00
Гликозиды кемпферола ($X \pm 0.01$)				0.06	0.08	0.03	0.14	0.06
Гликозиды изорамнетина ($X \pm 0.005$)				0.02	0.01	0.02	0.03	0.03
Сумма флавонолгликозидов ($X \pm 0.1$)				1.59	1.70	0.51	1.18	2.09
Фенолокислоты ($X \pm 0.05$)				0.41	0.23	0.39	0.58	0.59
Фенольные соединения ($X \pm 0.2$)				2.0	1.9	0.9	1.8	2.7

* Среднее арифметическое (X) ± погрешность измерения (ΔX). Прочерк – нет данных.

на хроматограммах анализируемых образцов с временами удерживания пиков стандартных образцов в гидролизатах экстрактов листьев черемухи идентифицированы агликоны флавонолов – кверцетин ($\lambda_{\text{max}} = 255, 372$ нм), кемпферол ($\lambda_{\text{max}} = 265, 367$ нм), изорамнетин ($\lambda_{\text{max}} = 255, 370$ нм), в экстрактах листьев – галловая, кофейная, хлорогеновая кислоты, гиперозид, изокверцитрин и астрагалин. Два из четырех неидентифицированных главных компонентов по максимумам УФ-спектров были отнесены к фенолокислотам, два – к флавонолгликозидам (см. рисунок, табл. 1).

Установлено наличие во всех исследованных образцах четырех флавонолгликозидов, в том числе гиперозида и изокверцитрина; астрагалин, указанный в литературе, отмечен только в образце с зарастающего отвала. Большая часть фенольных (гидроксibenзойных и гидроксикоричных) кислот

встречается во всех изученных образцах, исключение составили только кофейная кислота и компонент № 3.

Содержание суммы фенольных соединений в экстрактах листьев черемухи изменяется существенно (см. табл. 1) – от 0.9 до 2.7 %, причем основная доля во всех образцах принадлежит флавонолгликозидам (от 0.5 до 2.1 %). Среди фенологликозидов превалируют гликозиды кверцетина, гликозиды изорамнетина обнаружены в следовых количествах. Соотношение гликозидов кверцетина к гликозидам кемпферола составило от 7:1 для Кузбасского БС до 34:1 для НА. Наименьшее количество флавонолгликозидов отмечено в условиях затенения.

При исследовании элементного химического состава листьев *P. avium*, произрастающей в различных экологических условиях, статистически значимых различий в целом не выявлено (табл. 2),

Таблица 2

Содержание химических элементов в листьях *P. avium*, мг/кг

Химический элемент	$M \pm \sigma$ или Med (Q_1-Q_3)	Min-max	V, %	Кларк**	Диапазон***
Al	780 (750–1080)	410–1950	49	300	–
B	29 ± 4	23–36	15	25	10–100
Ba	88 ± 20	57–115	23	22	<1–7
Be	0.07 ± 0.01	0.05–0.08	15	0.10	–
Ca	39 000 ± 5000	33 500–48 300	13	15 000	–
Cd	0.6 ± 0.2	0.4–0.8	29	0.005	0.05–0.2
Co	0.23 ± 0.07	0.15–0.35	31	1.0	0.02–1
Cr	1.2 (1.1–2.1)	0.9–2.5	41	1.8	0.1–0.5
Cu	5.9 ± 1.1	4.8–8.0	19	10	5–30
Fe	300 (260–580)	205–760	48	200	–
Ga	0.15 ± 0.03	0.11–0.20	19	0.05	–
K	16 200 ± 3500	12 800–21 500	22	11 000	–
Mg	4600 ± 1150	3000–6400	25	3200	–
Mn	250 (140–500)	140–670	57	240	30–300
Mo	0.29 ± 0.03	0.25–0.34	12	0.6	0.5–2
Na	110 (90–220)	80–240	45	1200	–
Ni	2.6 ± 0.5	2.2–3.5	19	2.0	0.1–5
P	3250 ± 930	1700–4200	28	2000	–
Pb	0.8 ± 0.2	0.5–1.0	29	2.5	5–10
Sc	0.10 ± 0.02	0.07–0.13	20	0.008	–
Si	7400 ± 1850	4400–9700	25	3000	–
Sn*	1.7 ± 0.4	1.2–2.4	25	0.25	–
Sr	170 ± 50	140–280	30	40	–
Ti	37 ± 11	23–53	30	32	–
V	1.1 ± 0.3	0.8–1.5	25	1.5	0.2–1.5
Y	0.5 ± 0.1	0.4–0.6	21	0.8	–
Yb	0.05 ± 0.01	0.04–0.08	27	0.0015	–
Zn	18 ± 3	14–22	14	50	27–150
Zr	3.8 ± 1.1	2.7–5.5	28	7.5	–

Примечание. M – среднее арифметическое, σ – среднеквадратическое отклонение, Med (Q_1-Q_3) – медиана (первый-третий квартили). Прочерк – нет данных.

* Пробы из г. Новосибирска исключены из выборки.

** Кларк в растительности суши (Романкевич, 1988).

*** Диапазон нормальной концентрации химического элемента в листьях растений (Kabata-Pendias, 2010).

за исключением повышенного содержания Sn (около 4 мг/кг) в пробах НА, что явно обусловлено влиянием Новосибирского оловокомбината и уже отмечалось нами ранее для других видов (Syso et al., 2016).

Более высокая вариабельность содержания в пробах ряда исследованных ХЭ может быть вызвана разным уровнем поверхностного загрязнения листьев мелкодисперсными почвенными частицами – зольность исследованных нами листьев составляет в среднем около 14 %, но при этом в отдельных пробах изменяется от 10 до 16 %. По данным (Sæbø et al., 2012), количество твердых частиц на листовой поверхности *Prunus padus* может достигать 10 мг/см², а в работах (Querol et al., 2002; Oliva, Mingorance, 2006; Leonard et al., 2016) отмечается, что Cr и Mn, а особенно Al и Fe содержатся в атмосферных частицах почвенного происхождения.

Сравнение полученных нами данных с литературными затруднительно в связи с крайней ограниченностью числа работ данной тематики. В статье М.В. Ларионова (2012) рассматривается содержание ХЭ в древесных насаждениях на фоновой территории и в городах Среднего и Нижнего Поволжья, однако для листьев *Padus avium* приводятся результаты определения только семи элементов. Концентрация Pb и Mn находится у нижней границы установленного нами диапазона, а Cu

и Zn – в 2–3 раза и более выше, чем на юге Западной Сибири. Содержание V и Co (указанное для г. Сердобска) – около 13 и 4 мг/кг соответственно – практически на порядок выше полученных нами значений, а Cd (г. Камышин) – 0.003 мг/кг – на два порядка ниже.

Анализ общего содержания макро- и микроэлементов в исследуемых образцах показал, что для большинства ХЭ их количество в листьях *P. avium* относительно близко кларкам в растительности суши, несколько ниже содержание Pb, Zn и значительно меньше Co, Na (см. табл. 2). Более высокую концентрацию Ca, Ba и Sr мы уже отмечали ранее для других видов растений, произрастающих на юге Западной Сибири (Syso et al., 2016). Кларки содержания Cd, Sc и Yb вызывают определенные сомнения в их корректности – таких низких значений в литературе в целом не встречается. В диапазоны оптимального содержания также укладывается большинство ХЭ, хотя концентрация таких наиболее важных микроэлементов, как Cu, Mo, Zn, находится на нижней границе диапазона, при этом меньше количество и относящегося к токсичным элементам Pb, но содержание Ba и Cd значительно выше, как уже отмечалось при сравнении с кларками. Содержание потенциально токсичных ХЭ (Cd и Pb) не превышало ПДК для лекарственного растительного сырья (Государственная фармакопея..., 2015).

ВЫВОДЫ

1. Листья *Padus avium* Mill. из техногенно нарушенных местообитаний могут служить источником биологически активных веществ: флавонолгликозидов, гидроксикоричных и гидроксibenзойных кислот.

2. В условиях юга Западной Сибири в растениях черемухи обнаружено пять флавонолгликозидов, среди них: гиперозид, изокверцитрин, астралин и пять фенолокислот, в том числе, галловая, хлорогеновая и кофейная. По содержанию ФС в

экстрактах листьев черемухи преобладают флавонолгликозиды. Различия в компонентном составе образцов из техногенно нарушенных экотопов незначительны.

3. Содержание ХЭ в образцах листьев *P. avium* с юга Западной Сибири статистически значимо не различается, при этом находится на уровне кларков в растительности суши для большинства элементов и не превышает ПДК для потенциально токсичных.

ЛИТЕРАТУРА

Боярских И.Г., Сысо А.И., Васильев В.Г., Сиромля Т.И. Содержание полифенольных соединений, микро- и макроэлементов в стеблях и листьях *Lonicera caerulea* subsp. *pallasii* (Caprifoliaceae) // Раст. ресурсы. 2016. Т. 52, № 1. С. 135–150.

Боярских И.Г., Чанкина О.В., Сысо А.И., Васильев В.Г. Тренды содержания химических элементов в листьях *Lonicera caerulea* (Caprifoliaceae) в связи с их вторичным метаболизмом в природных популяциях Горного Алтая // Изв. РАН. Сер. физ. 2015. Т. 79, № 1. С. 106.

Государственная фармакопея Российской Федерации. XIII изд. М., 2015. Т. 1. 1470 с.; Т. 3. 1294 с.

Коропачинский И.Ю. Древесные растения Азиатской России / И.Ю. Коропачинский, Т.Н. Востовская. Новосибирск, 2002. 707 с.

Ларионов М.В. Содержание тяжелых металлов в листьях городских древесных насаждений // Вестн. КрасГАУ. 2012. № 10. С. 71–75.

Романкевич Е.А. Живое вещество Земли (биогеохимические аспекты проблемы) // Геохимия. 1988. № 2. С. 292–306.

Скуридин Г.М., Чанкина О.В., Легкодымов А.А., Багинская Н.В., Куценогий К.П. Элементный состав и интенсивность накопления химических элементов в листьях сибирской облепихи (*Hippop-*

- haë rhamnoides* L.) // Химия в интересах устойчивого развития. 2014. Т. 22, № 3. С. 301–305.
- Скуридин Г.М., Чанкина О.В., Легкодымов А.А., Креймер В.К., Багинская Н.В., Куценогий К.П.** Микроэлементный состав тканей облепихи крушиновидной (*Hipporhaë rhamnoides* L.) // Изв. РАН. Сер. физ. 2013. Т. 77, № 2. С. 229.
- Храмова Е.П., Комаревцева Е.К.** Изменчивость флавоноидного состава листьев *Potentilla fruticosa* (*Rosaceae*) разных возрастных состояний в условиях Горного Алтая // Раст. ресурсы. 2008. Т. 44, № 3. С. 96–102.
- Царенко Н.А.** Фенольные соединения плодов некоторых видов *Padus* и *Cerasus* (*Rosaceae*) // Вестн. КрасГАУ. 2010. Т. 42, № 3. С. 49–57.
- Юрьев Д.В., Эллер К.И., Арзамасцев А.П.** Анализ флавонолгликозидов в препаратах и БАД на основе экстракта *Ginkgo biloba* // Фармация. 2003. № 2. С. 7–10.
- Colle C., Madoz-Escande C., Leclerc E.** Foliar transfer into the biosphere: review of translocation factors to cereal grains // J. Environm. Radioact. 2009. V. 100. P. 683–689. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2008.10.002
- Haslam E.** Structure conformation and biosynthesis of natural procyanidins // Proc. Eg. 5th Hing. Bioflav. Symp. Budapest, 1977. P. 97–110.
- Kabata-Pendias A.** Trace elements in soils and plants / A. Kabata-Pendias. 4th Ed. FL, 2010. 548 p. DOI: 10.1201/b10158-6
- Leonard R.J., McArthur C., Hochuli D.F.** Particulate matter deposition on roadside plants and the importance of leaf trait combinations // Urban Forestry and Urban Greening. 2016. V. 20. P. 249–253. DOI: 10.1016/j.ufug.2016.09.008
- Na D.S., Yang M.C., Lee K.H., Lee K.R.** Cerebrosides and phenolic constituents of *Prunus padus* L. // Saengyak Hakhoechi. 2006. No. 37. P. 125–129.
- Oliva S.R., Mingorance M.D.** Assessment of airborne heavy metal pollution by aboveground plant parts // Chemosph. 2006. No. 65. P. 177–182. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2006.03.003
- Olszewska M.A., Kwapisz A.** Metabolite profiling and antioxidant activity of *Prunus padus* L. flowers and leaves // Nat. Prod. Res. 2011. V. 25 (12). P. 1115–1131. DOI: 10.1080/14786410903230359
- Poonam V., Raunak V., Kumar G. et al.** Chemical constituents of the genus *Prunus* and their medicinal properties // Cur. Med. Chem. 2011. V. 18, I. 25. P. 3758–3824. DOI: 10.2174/092986711803414386
- Querol X., Alastuey A., De la Rosa J., Sæñchez-de-la-Campa A., Plana F., Ruiz C.R.** Source apportionment analysis of atmospheric particulates in an industrialised urban site in southwestern Spain // Atmosph. Environm. 2002. V. 36. P. 3113–3125.
- Sæbø A., Popek R., Nawrot B., Hanslin H.M., Gawronska H., Gawronski S.W.** Plant species differences in particulate matter accumulation on leaf surfaces // Sci. Total Envir. 2012. V. 427–428. P. 347–354. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2012.03.084
- Syso A.I., Syromlya T.I., Myadelets M.A., Cherevko A.S.** Ecological and biogeochemical assessment of elemental and biochemical composition of the vegetation of anthropogenically disturbed ecosystems (based on the example of *Achillea millefolium* L.) // Contemp. Probl. Ecol. 2016. V. 9, No. 5. P. 643–651. DOI: 10.1134/S1995425516050164
- Van Beek T.A.** Chemical analysis of *Ginkgo biloba* leaves and extracts // J. Chromatogr. A. 2002. V. 967. P. 21–35.
- Zheljzakov V.D., Jeliakova E.A., Kovacheva N., Dzhurmanski A.** Metal uptake by medicinal plant species grown in soils contaminated by a smelter // Envir. Experim. Bot. 2008. V. 64, No. 3. P. 207–216. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2008.07.003