

УДК 634.24:58.02/581.192.1

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.5.105

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭЛЕМЕНТНОГО ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОБЕГОВ *Padus avium* ИЗ ТЕХНОГЕННО НАРУШЕННЫХ ЭКОТОПОВ

Ю.В. Загурская<sup>1</sup>, канд. биол. наук; ResearcherID: [M-3233-2014](#),  
ORCID: [0000-0001-8101-0945](#)

Т.И. Сиромля<sup>2</sup>, канд. биол. наук; ResearcherID: [W-9101-2019](#),  
ORCID: [0000-0002-0155-2283](#)

<sup>1</sup>Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения РАН (Институт экологии человека), просп. Ленинградский, д. 10, г. Кемерово, Россия, 650065; e-mail: syjil@mail.ru

<sup>2</sup>Институт почвоведения и агрохимии Сибирского отделения РАН, просп. Академика Лаврентьева, д. 8/2, г. Новосибирск, Россия, 630090; e-mail: tatiana@issa.nsc.ru

Для наиболее рационального применения растительных ресурсов в настоящее время рассматривается возможность производства из древесной массы крон добавок для пищевых продуктов, обогащенных биологически активными веществами, а также комбинированных типов лекарственного растительного сырья. При использовании растений, произрастающих на антропогенно преобразованных территориях, решающими становятся вопросы накопления в них потенциально опасных для человека химических элементов. Изучены закономерности распределения их в плодах, листьях и стеблях *Padus avium* из техногенно нарушенных экотопов на юге Западной Сибири. Содержание химических элементов исследовали методом атомно-эмиссионного спектрометрического анализа после сухого озоления. Элементный химический состав почв исследованных местообитаний характеризуется высокой вариабельностью и отсутствием значимых различий. Количество химических элементов в плодах, листьях и одревесневших стеблях *P. avium* из экотопов с различной степенью техногенной нагрузки статистически значимо не отличается. Относительно стабильное содержание химических элементов в основном характерно для эссенциальных элементов – Са, К, Mg, P, В, Cu, Zn, а также Pb, Sn, V. Для элементов, в значительной степени связанных с мелкодисперсными почвенными частицами (Al, Cr, Fe, Mn, Na, Sc, Si, Ti), наблюдается высокая вариабельность. Во всех изученных образцах отмечена более высокая концентрация Sr, характерная и для других растений на юге Западной Сибири. В исследованных органах выявлена существенная разница в концентрации химических элементов: минимальное содержание большинства элементов обнаружено в плодах (за исключением В) и стеблях (за исключением Zn), листья содержат в несколько раз больше химических элементов, что может быть связано с более высоким вкладом почвенных частиц. Отсутствие превышения предельно допустимых концентраций по содержанию потенциально опасных элементов и наличие биологически активных соединений в плодах и листьях свидетельствуют о возможности применения древесной массы из крон *P. avium* в пищевой и косметической промышленности в качестве источника биологически активных веществ и натуральных красителей.

**Для цитирования:** Загурская Ю.В., Сиромля Т.И. Сравнительный анализ элементного химического состава побегов *Padus avium* из техногенно нарушенных экотопов // Лесн. журн. 2019. № 5. С. 105–114. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.5.105

**Финансирование:** Работа выполнена в рамках проектов № 0352-2019-0015 (ЕГИСУ НИОКТР № 171170414100531) и № 0313-2016-0001 (ЕГИСУ НИОКТР № 171170301100781).

**Ключевые слова:** *Padus avium* Mill., *Prunus padus* L., черемуха, элементный химический состав, органоспецифичность, растительные ресурсы, тяжелые металлы, биогенные элементы, эколого-гигиеническая оценка.

### Введение

Черемуха обыкновенная (*Padus avium* Mill., в зарубежной литературе – *Prunus padus* L.) – широко распространенное в умеренной зоне естественных биоценозов лесных и лесостепных регионов древесное растение. Благодаря быстрому росту, высокой газоустойчивости и способности произрастать на бедных почвах [4], она является одной из культур, пригодных для расширения ассортимента кустарниковых пород, биологического этапа рекультивации земель, нарушенных горными работами [7], создания защитных лесополос в большинстве климатических зон России [17, 20], а также озеленения городских территорий [29].

Одна из актуальных проблем лесопользования – накопление запасов древесных отходов, в том числе при кронировании насаждений и рубках ухода, причем известно, что при переработке древесной массы из крон можно получить конкурентоспособную продукцию [1]. Для производства пищевых продуктов, обогащенных биологически активными веществами, предлагается использовать и листья плодовых деревьев [23, 33], в том числе *P. avium* [16]. Ведутся исследования по созданию комплексных и комбинированных типов лекарственного растительного сырья из побегов или цветков (плодов) с листьями древесных растений [10], а также по поиску натуральных красителей для косметической, пищевой и текстильной промышленности не только из плодов, но и листьев черемухи [24]. Следует отметить, что применение разных частей черемухи (плоды, листья, кора) и их сочетание могут обеспечивать различные результаты окрашивания.

Однако при использовании растительных ресурсов, произрастающих на антропогенно преобразованных территориях, зачастую решающими становятся вопросы накопления в них потенциально опасных для человека химических элементов (ХЭ) [28, 30, 34]. Загрязнение растений токсичными элементами и радионуклидами зависит от многих физических, химических и биологических факторов [22], в том числе физиологических и морфолого-анатомических особенностей таксона [21], что делает приоритетным изучение особенностей миграции ХЭ в различных органах и тканях растений, а не только получение фактических данных об их содержании. К потенциально опасным для человека ХЭ относятся не только те, содержание которых нормируется в лекарственном растительном сырье [8] и в биологически активных добавках (БАД) на растительной основе (СанПиН 2.3.2.1078–01) (As, Cd, Hg, Pb), но и ряд жизненно необходимых для организма компонентов (Fe, Cu, Zn, Mo, Cr, Ni) [25].

Несмотря на то, что *P. avium* – ценное пищевое и лекарственное растение, плоды которого включены в Российскую фармакопею [15], особенности элементного химического состава этого вида изучены недостаточно. В литературе приводятся некоторые данные об элементном химическом составе ее листьев [3, 5] и плодов [6, 18], но сведения о сравнительном составе ХЭ в различных органах отсутствуют.

Цель исследования – изучение содержания химических элементов и закономерности их распределения в плодах, листьях и стеблях *P. avium* из техногенно нарушенных экотопов на юге Западной Сибири.

### Объекты и методы исследования

Объект изучения – группы по 4–8 плодоносящих (взрослых) растений *P. avium* на Кедровском угольном разрезе (г. Кемерово). Территория

представляет собой ненарушенный лугово-степной участок, расположенный примерно в 50 м от грунтовой дороги; зарастающий отвал угольного карьера (эмбриоземы); овраг под пологом березово-соснового леса, около 20 м от технологической дороги на разрез. Для фоновой территории выбраны земли в окрестностях Кузбасского ботанического сада и в Новосибирском Академгородке, менее 10 м от дороги IV категории. Среди изученных растений *P. avium* встречались как кустарниковые формы, так и низкорослые деревья.

Материал для исследования – зрелые, неповрежденные листовые пластины, плоды и одревесневшие стебли побегов возрастом 2–4 года (далее – стебли) *P. avium*, собранные в июне и июле 2015 г. со средней части (на высоте 1,5...2,5 м над землей) и разных сторон кроны. Каждый образец изучен в 3–5 повторностях. Данные приведены в пересчете на абсолютно сухое вещество.

Элементный химический состав образцов изучали после сухого озоления методом атомно-эмиссионного спектрометрического анализа (дуговой аргоновый двухструйный плазматрон (Россия); спектрометр PGS-2 (Германия); многоканальный анализатор эмиссионных спектров (Россия)). Концентрацию As и Hg определяли по ГОСТ Р 51766–2001 и ГОСТ Р 53183–2008 (их содержание в пробах оказалось ниже предела обнаружения). 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.

Экспериментальные данные статистически обрабатывали с помощью пакета программ Statistica 6.1. Для нормально распределенных (критерий Уилка–Шапиро) однородных (критерий Кохрена) выборок были рассчитаны средние арифметические значения ( $M$ ), среднеквадратические отклонения ( $\sigma$ ), медианы ( $Med$ ) и выполнен однофакторный параметрический дисперсионный анализ. В остальных случаях были рассчитаны  $Med$  и первый–третий квартили ( $Q_1$ – $Q_3$ ), статистическую значимость разницы между анализируемыми группами оценивали по критериям Краскела–Уоллиса. Критический уровень значимости ( $p$ ) во всех случаях принимался равным 0,05. Дополнительно в работе приведены минимальные и максимальные ( $min$ – $max$ ) значения выборок.

#### *Результаты исследования и их обсуждение*

При исследовании элементного химического состава почвенного покрова в местах произрастания *P. avium* каких-либо отличительных особенностей выявлено не было – даже в существенно нарушенных техногенным воздействием экотопах (зарастающие отвалы отработанных угольных карьеров и обочины дорог) валовое содержание и концентрация подвижных форм ХЭ статистически значимо не отличались от фоновых значений, что уже отмечалось и объяснялось ранее [2, 12, 13, 31, 32]. Отсутствие статистически значимых различий и высокая вариабельность элементного химического состава почв соответствующим образом отразились и на растительности.

Несмотря на то, что описанные выше экотопы в значительной степени качественно и количественно отличались по характеру и уровню антропогенного воздействия, статистически значимых отличий в элементном химическом составе исследуемых органов *P. avium*, отобранных на различных участках, выявлено не было. Обобщенные данные представлены в таблице, где ХЭ расположены в порядке уменьшения кларка [9].

Содержание ХЭ в органах *P. avium* на юге Западной Сибири

ХЭ	Кларк*	РР**	M±σ или Med (Q <sub>1</sub> –Q <sub>3</sub> )		
			Плоды	Листья	Стебли
<i>В процентах масс</i>					
Ca	1,5	1,0	0,4±0,1	3,9±0,5	1,3±0,2
K	1,1	1,9	0,9±0,1	1,6±0,4	0,4±0,1
Mg	0,32	0,2	0,08±0,02	0,46±0,12	0,10±0,01
Si	0,3	0,1	0,022±0,004	0,74±0,19	0,07(0,06...0,12)
P	0,2	0,2	0,18±0,03	0,33±0,09	0,10±0,02
<i>В микрограммах на килограмм</i>					
Na	1200	150	22±6	110(90...220)	65(43–94)
Al	300	80	27±5	780(750...1080)	330(306...363)
Mn	240	200	5(4...24)	250(140...500)	45±14
Fe	200	150	22±6	300(260...580)	147±28
Zn	50	50	8,0±1,4	18,1±2,6	24,0±5,0
Sr	40	50	13(11...23)	170±50	101±29
Ti	32	5	1,9±0,5	37,2±11,1	17,1(16,7...29,1)
B	25	40	41±12	29±4	17±2
Ba	22	40	10±3	88±20	33±10
Cu	10	10	3,8±1,1	5,9±1,1	5,2±1,1
Zr	7,5	0,1	0,8±0,2	3,8±1,1	1,1±3,3
Pb	2,5	1,0	0,09±0,02	0,75±0,23	0,70±0,11
Ni	2,0	1,5	1,0±0,3	2,6±0,5	1,2±0,3
Cr	1,8	1,5	0,23±0,06	1,18(1,09...2,12)	0,55±0,16
V	1,5	0,5	0,19±0,05	1,08±0,27	0,46±0,13
Co	1,0	0,2	0,06±0,01	0,23±0,07	0,10±0,03
Y	0,8	0,2	0,07±0,01	0,49±0,10	0,18±0,05
Mo	0,6	0,5	0,11(0,09...0,19)	0,29±0,03	0,29±0,08
Sn	0,25	0,2	0,5±0,1	1,7±0,4	0,4±0,1
Be	0,10	0,001	0,018±0,003	0,071±0,011	0,028±0,007
Ga	0,05	0,1	0,03±0,01	0,15±0,03	0,06±0,01
Sc	0,008	0,02	0,007(0,004...0,011)	0,092±0,022	0,047(0,028...0,058)
Cd	0,005	0,05	0,19±0,05	0,58±0,17	0,21±0,05
Yb	0,0015	0,02	0,009±0,002	0,054±0,015	0,019±0,005

\*В растительности суши [9].

\*\* Reference Plant (обобщенное эталонное растение) [26].

В пробах листьев из Новосибирска было отмечено повышенное содержание олова (Sn), связанное с воздействием Новосибирского оловокомбината [3], при дальнейшей математической обработке полученных результатов эти значения были исключены; в пробах плодов и стеблей подобного явления не наблюдалось.

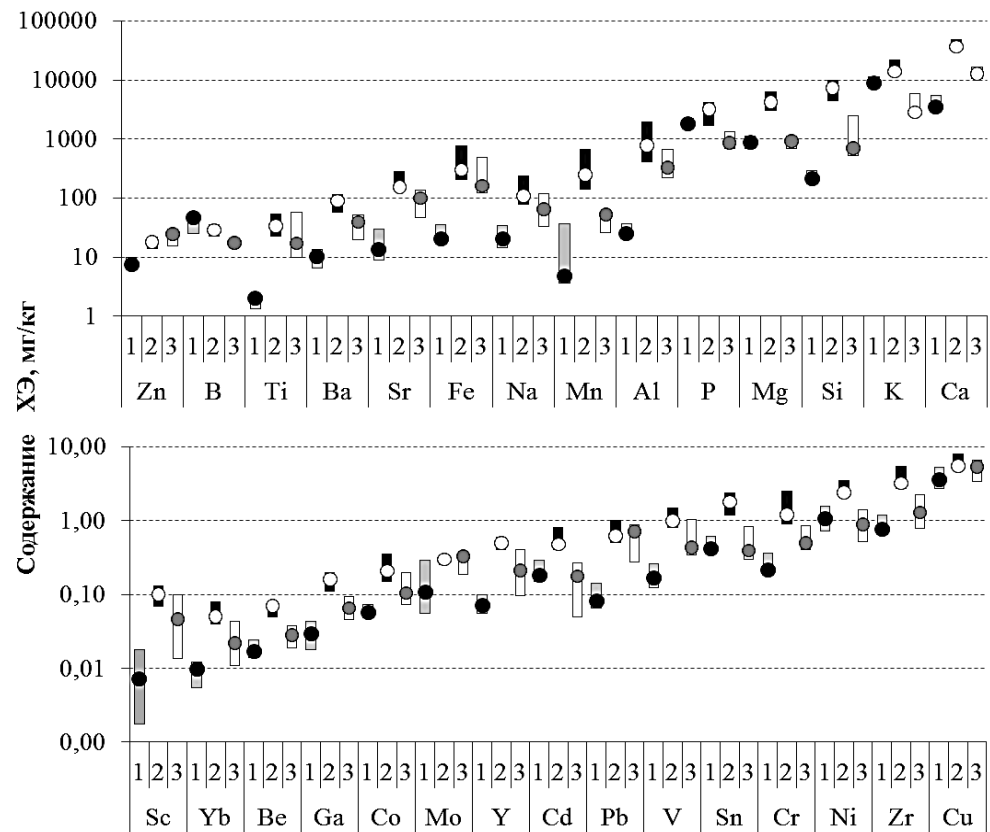
Содержание подавляющего большинства исследованных ХЭ в органах *P. avium* снижается в ряду листья > стебли > плоды, причем разница между листьями и плодами может составлять более одного порядка (Al, Mn, Fe, Cr, V). При этом в плодах было обнаружено наибольшее количество бора (B), в одревесневших стеблях – максимальное количество цинка (Zn), минимальное – двух из основных биофильных элементов: фосфора (P) и калия (K).

В литературе данные об элементном химическом составе *P. avium* практически отсутствуют, что весьма затрудняет проведение сравнительного анализа. Ранее в нашей работе [3] обсуждалось содержание ХЭ в листьях *P. avium*; концентрацию ХЭ в плодах можно сравнить с данными, представленными в монографии Ловковой и др. [6], а также с их количеством в растениях Дагестана [18]. Приведенные в работах [6] и [18] значения очень сходны у всех исследованных ХЭ, кроме бора – 0,90 и 33 мг/кг соответственно, к нашим данным ближе последняя величина. В целом образцы плодов в исследуемом регионе содержат близкие количества Al, Ca, Cr, Fe, K, Mg, Mn, Ni и Zn, при этом на порядок ниже концентрация Cu, Pb и на два порядка – Co. Учитывая, что в работе [6] указано, что *P. avium* является концентратором Cu и Co (особенно Co), то этот вопрос требует дальнейшего рассмотрения. Намного более высокая (в 10–30 раз) концентрация стронция (Sr) в сибирских растениях связана, скорее всего, с региональными особенностями и уже отмечалась нами ранее для других видов растений, произрастающих на юге Западной Сибири [31].

Наблюдая подобную резкую разницу в элементном химическом составе различных органов растений одного вида, можно предположить, что весьма сложная и неоднозначная картина возникнет при их сравнении с кларками ХЭ в растительности суши и обобщенным эталонным растением (RP) [26], особенно учитывая их резкие отличия по содержанию Na, Ti, Zr, Co, Y, Be, Sc, Cd, Yb. Например, в плодах содержатся относительно близкие к кларкам и RP концентрации K, P, B, Ni и Sn, в листьях – K, Mg, Mn, B и Cr, в стеблях – Ca, Al, Fe, Ba и Sn, а сходные количества Pb, Ni, V, Ga находятся и в листьях, и в стеблях. При этом во всех органах *P. avium* содержится меньше Cu, Zn, Mo, а в стеблях и листьях – больше Sr.

При рассмотрении не только средних значений, но и полного диапазона встречающихся концентраций ХЭ в отдельных органах *P. avium*, весьма четко прослеживается как относительно стабильное содержание ХЭ (в основном макроэлементов и биофилов – Ca, K, Mg, P, B, Cu, Zn, но при этом также Pb, Sn, V), так и их высокая вариабельность (в основном «почвенных элементов», т. е. зачастую связанных с почвенными частицами [19] – Al, Cr, Fe, Mn, Na, Sc, Si, Ti) (см. рисунок).

Влияние мелкодисперсных почвенных частиц на элементный химический состав растений может быть весьма существенным [19] и уже обсуждалось нами ранее при исследовании листьев *P. avium* [3] и других видов растений [11]. Вполне естественно, что среди исследованных органов *P. avium* наибольшей запыленностью будут характеризоваться именно листья. Это подтверждают показатели зольности – (14,3±1,8) % (при (5,1±0,4) % у стеблей и (3,9±0,7) % у плодов), содержание Si (примерно в 10 раз больше, чем в стеблях, и в 35 раз – чем в плодах), хром-никелевое отношение [14], коэффициент обогащения [19] и т. д. Таким образом, необходимо принимать во внимание, что часть ХЭ в листьях *P. avium* может содержаться не в растительных тканях, а находиться на поверхности в составе мелкодисперсных почвенных частиц.



Диапазон концентраций ХЭ в органах *P. avium* на юге Западной Сибири Мед (min–max):  
1 – плоды, 2 – листья, 3 – одревесневшие стебли

Concentration range of chemical elements ХЭ in organs of *P. avium* in the south of Western Siberia Med (min–max): 1 – fruits, 2 – leaves, 3 – lignified stems

Эколого-гигиеническая оценка всех исследованных органов *P. avium* по требованиям Российской фармакопеи [8] для растительного лекарственного сырья и СанПиН 2.3.2.1078–01 для БАД на растительной основе показала отсутствие превышений допустимых значений (ПДК) содержания нормируемых ХЭ. Учитывая ранее полученные данные о достаточно высоком содержании биологически активных соединений фенольной природы в плодах и листьях [3, 27], применение древесной массы из крон *P. avium* в качестве растительного сырья допустимо.

#### Заключение

Элементный химический состав побегов *P. avium* (плодов, листьев и одревесневших стеблей) в экотопах с различной степенью техногенной нагрузки статистически значимо не различается. Значительные различия по содержанию ХЭ отмечены для органов: минимальное содержание большинства элементов обнаружено в плодах (за исключением В) и стеблях (за исключением Zn), листья содержат в несколько раз больше ХЭ, что может быть связано с большим вкладом почвенных частиц. Высокая вариабельность в образцах всех исследованных органов характеризует количество элементов, как правило, связанных с мелкодисперсными почвенными частицами, имеющими низкую биодоступ-

ность. Отсутствие превышения ПДК по содержанию нормируемых ХЭ и достаточно высокое содержание биологически активных соединений в плодах и листьях свидетельствуют о допустимости применения растительного сырья древесной массы из крон *P. avium* в пищевой и косметической промышленности в качестве источника биологически активных веществ и натуральных красителей.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Гусева Л.М. Распределение запасов древесных отходов из крон на территории лесного фонда Нижегородской области // Лесн. журн. 2018. № 4. С. 79–86. (Изв. высш. учеб. заведений). [Guseva L.M. Distribution of Reserves of Wood Waste from Crowns in the Forest Fund of the Nizhny Novgorod Region. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2018, no. 4, pp. 79–86]. DOI: [10.17238/issn0536-1036.2018.4.79](https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2018.4.79); URL: [http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/71c/79\\_86.pdf](http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/71c/79_86.pdf)
2. Динамика экосистем Новосибирского Академгородка / отв. ред. И.Ф. Жимулев. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2013. 438 с. [*Dynamics of Ecosystems of Novosibirsk Academgorodok*. Editor-in-Chief I.F. Zhimulev. Novosibirsk, SB RAS Publ., 2013. 438 p.].
3. Загурская Ю.В., Коцупий О.В., Сиromля Т.И. Листья *Padus avium* (Rosaceae) из техногенно нарушенных экотопов как источник биологически активных веществ // Растительный мир Азиатской России. 2018. № 4. С. 102–107. [Zagurskaya Yu.V., Kotsupiy O.V., Siromlya T.I. *Padus avium* (Rosaceae) Leaves from the Industrially Disturbed Ecotopes as a Source of Biologically Active Substances. *Rastitel'nyy Mir Aziatskoj Rossii* [Plant Life of Asian Russia], 2018, no. 4, pp. 102–107]. DOI: [10.21782/RMAR1995-2449-2018-4\(102-107\)](https://doi.org/10.21782/RMAR1995-2449-2018-4(102-107))
4. Коропачинский И.Ю., Встовская Т.Н. Древесные растения Азиатской России. Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2002. 707 с. [Koropachinskiy I.Yu., Vstovskaya T.N. *Woody Plants of Asian Russia*. Novosibirsk, SB RAS, Geo Branch Publ., 2002. 707 p.].
5. Ларионов М.В. Содержание тяжелых металлов в листьях городских древесных насаждений // Вестн. КрасГАУ. 2012. № 10. С. 71–75. [Larionov M.V. Heavy Metals Content in Urban Trees Plantation Leaves. *Vestnik KrasGAU* [The Bulletin of KrasGAU], 2012, no. 10, pp. 71–75].
6. Ловкова М.Я., Рабинович А.М., Пономарева С.М., Бузук Г.Н., Соколова С.М. Почему растения лечат. М.: URSS, 2014. 288 с. [Lovkova M.Ya., Rabinovich A.M., Ponomareva S.M., Buzuk G.N., Sokolova S.M. *Why Do Plants Treat?* Moscow, URSS Publ., 2014. 288 p.].
7. Мерзленко М.Д. Актуальные аспекты искусственного лесовосстановления // Лесн. журн. 2017. № 3. С. 22–30. (Изв. высш. учеб. заведений). [Merzlenko M.D. Relevant Aspects of Artificial Reforestation. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2017, no. 3, pp. 22–30]. DOI: [10.17238/issn0536-1036.2017.3.22](https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2017.3.22); URL: <http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/620/merzlenko.pdf>
8. ОФС.1.5.3.0009.15. Определение содержания тяжелых металлов и мышьяка в лекарственном растительном сырье и лекарственных растительных препаратах // Гос. фармакопея Российской Федерации. XIV изд. Т. II. М., 2018. С. 2370–2382. [OFS.1.5.3.0009.15. Determination of Heavy Metals and Arsenic in Medicinal Plants and Herbal Medicinal Products. *State Pharmacopeia of the Russian Federation*. Vol. 2. Moscow, 2018, pp. 2370–2382].
9. Романкевич Е.А. Живое вещество Земли (биогеохимические аспекты проблемы) // Геохимия. 1988. № 2. С. 292–306. [Romankevich E.A. Living Matter of the Earth (Biogeochemical Sides of the Issue). *Geokhimiya* [Geochemistry International], 1988, no. 2, pp. 292–306].
10. Сагарадзе В.А., Бабаева Е.Ю., Уфимов Р.А., Загурская Ю.В., Трусов Н.А., Коротких И.Н., Маркин В.И., Пещанская Е.В., Можжаева Г.Ф., Каленикова Е.И. Содержание флавоноидов в цветках с листьями боярышников (*Crataegus* L.) флоры РФ // Химия

растит. сырья. 2018. № 4. С. 95–104. [Sagaradze V.A., Babaeva E.Yu., Ufimov R.A., Zagurskaya Yu.V., Trusov N.A., Korotkikh I.N., Markin V.I., Peschanskaya E.V., Mozhaeva G.F., Kalenikova E.I. Total Flavonoids in Crataegus «Flowers with Leaves» Raw Material of Russian Flora. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya* [Chemistry of plant raw material], 2018, no. 4, pp. 95–104]. DOI: [10.14258/jcprm.2018044039](https://doi.org/10.14258/jcprm.2018044039)

11. Сиromля Т.И. Влияние аэрогенного загрязнения на элементный химический состав растений // Почвы в биосфере: сб. материалов Всерос. науч. конф. с международным участием, посвященной 50-летию Ин-та почвоведения и агрохимии СО РАН, г. Новосибирск, 10–14 сент. 2018 г. Томск: Изд. дом Томск. гос. ун-та, 2018. Ч. 1. С. 377–381. [Siromlya T.I. Effect of Aerogenic Contamination on the Chemical Elements Composition of Plants. *Soils in Biosphere: Proceedings of the All-Russian Scientific Conference with International Participation Dedicated to the Fiftieth Anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry, SB RAS, Novosibirsk, September 10–14, 2018*. Tomsk, TSU Publ., 2018, part 1, pp. 377–381].

12. Сиromля Т.И., Сысо А.И., Загурская Ю.В., Баяндина И.И. Эколого-агрохимическая оценка состава и свойств почв ботанических садов юго-востока Западной Сибири // Агрохимия. 2017. № 10. С. 16–23. [Siromlya T.I., Syso A.I., Zagurskaya Yu.V., Bayandina I.I. Ecological and Agrochemical Evaluation of Composition and Properties of Soils in Botanical Gardens of the South-East of Western Siberia. *Agrokhimiya* [Eurasian Soil Science], 2017, no. 10, pp. 16–23]. DOI: [10.7868/S0002188117100039](https://doi.org/10.7868/S0002188117100039)

13. Сысо А.И. Использование отношения Cr:Ni в мониторинге загрязнения природной среды // Агрохимия. 1998. № 4. С. 76–83. [Syso A.I. Applying of Cr:Ni Ratio for Environmental Pollution Monitoring. *Agrokhimiya* [Eurasian Soil Science], 1998, no. 4, pp. 76–83].

14. Сысо А.И. Закономерности распределения химических элементов в почвообразующих породах и почвах Западной Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007. 277 с. [Syso A.I. *Patterns of Distribution of Chemical Elements in the Parent Rock Materials and Soils of Western Siberia*. Novosibirsk, SB RAN Publ., 2007. 277 p.].

15. ФС.2.5.0049.15. Черемухи обыкновенной плоды *Padi avii fructus* // Гос. фармакопея Российской Федерации. XIV изд. Т. IV. М., 2018. С. 6594–6598. [FS.2.5.0049.15. Fruit of Bird Cherry *Padi avii fructus*. *State Pharmacopeia of the Russian Federation*. Vol. 4. Moscow, 2018, pp. 6594–6598].

16. Черных Е.П., Мильшина Л.А., Гоголева О.В., Первышина Г.Г. Влияние экологических факторов и периода вегетации на содержание биологически активных веществ в некоторых видах растительного сырья Красноярского края // Вестн. КрасГАУ. 2012. № 11. С. 128–131. [Chernykh E.P., Milshina L.A., Gogoleva O.V., Pervyshina G.G. Ecological Factors and Vegetation Period Influence on the Content of Biologically Active Substances in Some Vegetative Raw Material Types in Krasnoyarsk Territory. *Vestnik KrasGAU* [The Bulletin of KrasGAU], 2012, no. 11, pp. 128–131].

17. Чибрик Т.С. Основы биологической рекультивации: учеб. пособие. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2002. 172 с. [Chibrik T.S. *Basics of Biological Recultivation: Educational Textbook*. Yekaterinburg, USU Publ., 2002. 172 p.].

18. Эмирбеков Э.З., Абдуразаков М.А., Исмаилов Х.М. Клинико-фармакологическая характеристика и содержание макро- и микроэлементов в лекарственных растениях Дагестана // Главный врач Юга России. 2007. № 3(11). С. 42–43. [Emirbekov E.Z., Abdurazakov M.A., Ismailov Kh.M. Clinical and Pharmacological Description and Content of Macro- and Microelements in Medical Plants of Dagestan. *Glavnyy vrach Yuga Rossii*, 2007, no. 3(11), pp. 42–43].

19. Bargagli R. *Trace Elements in Terrestrial Plants: An Ecophysiological Approach to Biomonitoring and Biorecovery*. Berlin, Springer, 1998. 324 p.



20. Bragina P.S., Tsibart A.S., Zavadskaya M.P., Sharapova A.V. Soils on Overburden Dumps in the Forest-Steppe and Mountain Taiga Zones of the Kuzbass. *Eurasian Soil Science*, 2014, vol. 47, iss. 7, pp. 723–733. DOI: [10.1134/S1064229314050032](https://doi.org/10.1134/S1064229314050032)
21. Buksh E., Malik S.A., Ahmad S.S. Estimation of Nutritional Value and Trace Elements Content of *Carthamus oxyacantha*, *Eruca sativa* and *Plantago ovate*. *Pakistan Journal of Botany*, 2007, vol. 39, iss. 4, pp. 1181–1187.
22. Colle C., Madoz-Escande C., Leclerc E. Foliar Transfer into the Biosphere: Review of Translocation Factors to Cereal Grains. *Journal of Environmental Radioactivity*, 2009, vol. 100, iss. 9, pp. 683–689. DOI: [10.1016/j.jenvrad.2008.10.002](https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2008.10.002)
23. Cvetković D., Stanojević L., Zvezdanović J., Savić S., Ilić D., Karabegović I. Aronia Leaves at the End of Harvest Season – Promising Source of Phenolic Compounds, Macro- and Microelements. *Scientia Horticulturae*, 2018, vol. 239, pp. 17–25. DOI: [10.1016/j.scienta.2018.05.015](https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.05.015)
24. Grae I. *Nature's Colors: Dyes from Plants*. New York, Macmillan, 1979. 229 p.
25. Hu Y., Zhou J., Du B., Liu H., Zhang W., Liang J., Zhang W., You L., Zhou J. Health Risks to Local Residents from the Exposure of Heavy Metals Around the Largest Copper Smelter in China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2019, vol. 171, pp. 329–336. DOI: [10.1016/j.ecoenv.2018.12.073](https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.12.073)
26. Markert B. Establishing of 'Reference Plant' for Inorganic Characterization of Different Plant Species by Chemical Fingerprinting. *Water, Air, and Soil Pollution*, 1992, vol. 64, iss. 3-4, pp. 533–538. DOI: [10.1007/BF00483363](https://doi.org/10.1007/BF00483363)
27. Poonam V., Raunak V., Kumar G., Reddy L.C.S., Jain R., Sharma S.K., Prasad A.K., Parmar V.S. Chemical Constituents of the Genus *Prunus* and Their Medicinal Properties. *Current Medicinal Chemistry*, 2011, vol. 18, iss. 25, pp. 3758–3824. DOI: [10.2174/092986711803414386](https://doi.org/10.2174/092986711803414386)
28. Rosca C., Schoenberg R., Tomlinson E.L., Kamber B.S. Combined Zinc-Lead Isotope and Trace-Metal Assessment of Recent Atmospheric Pollution Sources Recorded in Irish Peatlands. *Science of The Total Environment*, 2019, vol. 658, pp. 234–249. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2018.12.049](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.049)
29. Sæbø A., Popek R., Nawrot B., Hanslin H.M., Gawronska H., Gawronski S.W. Plant Species Differences in Particulate Matter Accumulation on Leaf Surfaces. *Science of The Total Environment*, 2012, vol. 427-428, pp. 347–354. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2012.03.084](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.03.084)
30. Shariati S., Pourbabae A.A., Alikhani H.A., Rezaei K.A. Investigation of Heavy Metal Contamination in the Surface Sediments of Anzali Wetland in North of Iran. *Pollution*, 2019, vol. 5, iss. 1, pp. 211–224. DOI: [10.22059/poll.2018.257276.438](https://doi.org/10.22059/poll.2018.257276.438)
31. Siromlya T.I. Group Composition Forms of Heavy Metals in the Anthropogen. *Environmental Science*, 2018, vol. 201, art. 012021. DOI: [10.1088/1755-1315/201/1/012021](https://doi.org/10.1088/1755-1315/201/1/012021)
32. 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.). *Contemporary Problems of Ecology*, 2016, vol. 9, iss. 5, pp. 643–651. DOI: [10.1134/S1995425516050164](https://doi.org/10.1134/S1995425516050164)
33. Teleszko M., Wojdyło A. Comparison of Phenolic Compounds and Antioxidant Potential between Selected Edible Fruits and Their Leaves. *Journal of Functional Foods*, 2015, vol. 14, pp. 736–746. DOI: [10.1016/j.jff.2015.02.041](https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.02.041)
34. Wang S., Wang W., Chen J., Zhao L., Zhang B., Jiang X. Geochemical Baseline Establishment and Pollution Source Determination of Heavy Metals in Lake Sediments: A Case Study in Lihu Lake, China. *Science of The Total Environment*, 2019, vol. 657, pp. 978–986. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2018.12.098](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.098)

**COMPARATIVE ANALYSIS OF THE ELEMENTAL CHEMICAL COMPOSITION OF *Padus avium* SHOOTS FROM ANTROPOGENICALLY DISTURBED ECOTOPS**

*Yu.V. Zagurskaya*<sup>1</sup>, Candidate of Biology; ResearcherID: [M-3233-2014](#),  
ORCID: [0000-0001-8101-0945](#)

*T.I. Siromlya*<sup>2</sup>, Candidate of Biology; ResearcherID: [W-9101-2019](#),  
ORCID: [0000-0002-0155-2283](#)

<sup>1</sup>Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry, SB RAS (Institute of Human Ecology), prosp. Leningradskiy, 10, Kemerovo, 650065, Russian Federation; e-mail: syjil@mail.ru

<sup>2</sup>Institute of Soil Science and Agrochemistry, SB RAS, prosp. Akademika Lavrent'yeva, 8/2, Novosibirsk, 630090, Russian Federation; e-mail: tatiana@issa.nsc.ru

In order to use vegetative resources more efficiently nowadays a possibility to produce food supplements enriched with biologically active substances and also combined types of medical plant raw materials from wood pulp of crown is considered. When using plants growing on anthropogenically transformed territories, the issues of accumulation of chemical elements (CE) potentially hazardous for human in them become decisive. There have been studied mechanisms of CE distribution in *Padus avium* fruits, leaves and stems from anthropogenically transformed ecotopes in the south of Western Siberia. The content of CE has been studied by the atomic emission spectrometry after dry ashing. Element chemical composition of soils of studied habitats is characterized by high variability and absence of significant differences. The amounts of CE in fruits, leaves and lignified stems of *Padus avium* from anthropogenically transformed ecotopes with the different degree of environmental footprint do not differ significantly. Relatively stable content of CE is mainly peculiar to the essential elements of Ca, K, Mg, P, B, Cu, Zn and Pb, Sn, V as well. High variability is recorded for CE strongly associated with finely dispersed soil particles (Al, Cr, Fe, Mn, Na, Sc, Si, Ti). Higher concentration of Sr specific to other plants in the south of Western Siberia is observed in all studied samples. A sustainable difference was recorded in CE's concentration in the studied organs. The minimum percentage of the most part of the elements was found in fruits (apart from B) and stems (apart from Zn). Leaves contain several times more CE which may be due to a higher contribution of soil particles. The exceedence absence of maximum permissible concentrations of potentially hazardous CE and presence of biologically active compounds in fruits and leaves indicate the capability of usage crown wood pulp of *P. avium* in food and beauty industries as a source of biologically active substances and natural dyes.

**For citation:** Zagurskaya Yu.V., Siromlya T.I. Comparative Analysis of the Elemental Chemical Composition of *Padus avium* Shoots from Anthropogenically Disturbed Ecotops. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2019, no. 5, pp. 105–114. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.5.105

**Funding:** The research was carried out within the framework of the projects No. 0352-2019-0015 (EGISU NIOKTR No. 171170414100531) and No. 0313-2016-0001 (EGISU NIOKTR No. 171170301100781).

**Keywords:** *Padus avium* Mill., *Prunus padus* L., bird cherry, chemical elements composition, organ-specificity, vegetative resources, heavy metals, biogenic elements, ecological-hygienic estimation.

Поступила 29.03.19 / Received on March 29, 2019