

АНТРОПОГЕННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА РАСТИТЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ УРБАНИЗИРОВАННОЙ СРЕДЫ НА ЭКОЛОГО-ФИТОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЦВЕТКОВ *CRATAEGUS FALLACINA* (ROSACEAE) (НА ПРИМЕРЕ ДОНБАССА)

© 2023 г. Н. А. Виноградова¹, *, А. З. Глухов²

¹Государственная образовательная организация высшего профессионального образования
“Донецкий национальный медицинский университет им. М. Горького”, г. Донецк, Россия

²Государственное бюджетное учреждение “Донецкий ботанический сад”, г. Донецк, Россия

*e-mail: arina0vinogradova@yandex.com

Поступила в редакцию 31.01.2023 г.

После доработки 01.03.2023 г.

Принята к публикации 26.04.2023 г.

В условиях техногенного загрязнения в цветках *Crataegus fallacina* Klok. установлено снижение содержания каротиноидов и повышение концентрации флавоноидов, процианидинов, дубильных веществ, антоцианов, аскорбиновой, оксикоричных и свободных органических кислот, а также увеличение суммарной антиоксидантной активности. Выявлена способность растений *C. fallacina* ограничивать поступление кадмия и свинца в генеративные органы. Показано, что концентрация ртути в цветках *C. fallacina* превышает содержание этого элемента в почве. Установлено соответствие цветков *C. fallacina*, заготовленных в Донбассе, требованиям нормативной документации по содержанию действующих веществ и их экологическая безопасность по содержанию тяжелых металлов.

Ключевые слова: *Crataegus fallacina*, цветки, техногенное загрязнение, тяжелые металлы, биологически активные вещества, антиоксидантная активность

DOI: 10.31857/S0033994623020115, **EDN:** ZNQIKW

Согласно данным Всемирной организации здравоохранения основной причиной смерти во всем мире являются сердечно-сосудистые заболевания [1]. Использование в комплексной терапии и профилактике заболеваний сердечно-сосудистой системы лекарственных растительных препаратов имеет ряд преимуществ: они оказывают мягкое комплексное терапевтическое воздействие наряду с низкой вероятностью побочных эффектов. Наиболее широко в кардиологической практике применяют лекарства на основе растительного сырья, полученного из листьев, цветков и плодов представителей рода *Crataegus* L. (боярышник), обладающих кардиотоническим, антиаритмическим и гипотензивным действием [2–4]. Безопасность препаратов на основе растений рода *Crataegus* для человека доказана различными исследованиями и многолетней историей применения, что является преимуществом перед синтетическими лекарственными средствами с подобным действием [5, 6].

Род *Crataegus* (семейство Rosaceae Juss.) является очень многочисленным (по разным оценкам включает от 250 до 1250 видов): на территории России насчитывается около 50 дикорастущих и около 90 интродуцированных видов [7–9]. Тем не

менее, только некоторые представители этого рода разрешены к использованию в официальной медицине. В Государственную Фармакопею (ГФ) Российской Федерации (РФ) включены такие виды как *Crataegus laevigata* (Poir.) DC. (*C. oxyacantha* sensu Pojark.), *C. korolkowii* L. Henry, *C. chlorocarpa* Lenne et C. Koch, *C. altaica* (Loud.) Lange, *C. dahurica* Koehne ex Schneid., *C. monogina* Jacq., *C. alemanniensis* Cinovskis, *C. pentagyna* Waldst. et Kit., *C. orientobaltica* Cinovskis, *C. curvisepala* Lindm., *C. × curonica* Cinovskis, *C. × dunensis* Cinovskis, *C. sanguinea* Pall. [10]. Значительное количество видов рода *Crataegus* имеет достаточную сырьевую базу, но в настоящее время не используется в фармации в связи с малой изученностью компонентного состава. Это делает целесообразным проведение их комплексного фитохимического исследования.

Актуальными такие исследования являются и для Донбасса, крупного горно-промышленного региона, растительный мир которого насчитывает более 2000 видов, из которых около 300 могут быть потенциально использованы как лекарственные [11]. Так, например, аборигенный для флоры Донбасса вид *Crataegus fallacina* Klok. (боярышник обманчивый), который часто встреча-

ется на этой территории по склонам степных балок [12], мало изучен в отношении компонентного состава вегетативных и генеративных органов, что препятствует возможности его использования в медицине. Для оценки перспективности введения *C. fallacina* в официальную номенклатуру необходимо изучить его компонентный состав и оценить соответствие требованиям нормативной документации. Разрешенным сырьем боярышника в фармации России являются плоды и цветки, за рубежом также используют листья [10, 13]. Ранее нами уже были представлены результаты исследования листьев и плодов *C. fallacina* [14].

Донбасс характеризуется значительной техногенной нагрузкой на природную среду, что обусловлено высокой плотностью населения, насыщенностью транспортными коммуникациями и преобладанием в структуре промышленности отраслей со значительным количеством эмиссий (электроэнергетики, угольной, металлургической, машиностроительной, химической). В последние годы актуальной стала опасность выброса ксенобиотиков в результате военных действий. В связи с этим для оценки целесообразности использования растений региона в фармации важно исследовать накопление ими токсикантов, а также выявить изменение содержания в лекарственном сырье биологически активных веществ (БАВ) в зависимости от интенсивности техногенного прессинга. Действующими веществами представителей рода *Crataegus* являются фенольные соединения, важной функцией которых является защита растений от неблагоприятных факторов, поэтому их содержание может значительно изменяться в условиях городской среды [15–19].

При выращивании лекарственных растений в урбанизированной среде существует опасность их загрязнения тяжелыми металлами. Приоритетными по степени опасности являются ртуть, свинец и кадмий, согласно действующей российской нормативной документации, именно их содержание нормируется в растительном сырье, предназначенном для изготовления лекарственных препаратов [20].

Цель работы — выявление компонентного состава и оценка лекарственной ценности цветков *Crataegus fallacina* в урбанизированной среде обитания.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Цветки *C. fallacina* заготавливали в мае–июне 2020 г. в период массового цветения, на территории Донбасса в зонах, значительно различающихся по интенсивности антропогенного прессинга: в природной экосистеме (овражно-балочный степной фитоценоз) урочища “Балка Певчая” (относительно экологически чистая территория,

выбранная в качестве контроля); на территории Донецкого ботанического сада, расположенного на окраине г. Донецка (зона умеренной техногенной нагрузки) и в аллейном насаждении вдоль городской автотрассы с интенсивным движением (зона сильной техногенной нагрузки). Выборка составляла 5 особей в каждой исследуемой зоне. Отбор проб для анализов проводили с помощью выделения средней пробы методом квартования в соответствии с фармакопейными требованиями [20]. Все эксперименты проводили на высушенном сырье, в трех аналитических повторностях. Для оценки состояния среды обитания *C. fallacina* в разных зонах определяли концентрацию Pb, Cd и Hg в цветках и содержание их подвижных (наиболее доступных растениям) форм в почве.

Жизненное состояние растений *C. fallacina* оценивали по 6-ти балльной шкале повреждений деревьев и кустарников в зоне воздействия технологических эмиссий [21]. Состояние растений, произрастающих в условиях контроля и умеренной техногенной нагрузки, было оценено как хорошее, в условиях сильной нагрузки — как удовлетворительное.

Для определения содержания дубильных веществ и аскорбиновой кислоты использовали фармакопейные титриметрические методы, концентрацию антоцианов и оксикоричных кислот определяли спектрофотометрически, влажность — гравиметрически [10, 21]. Определение концентрации флавоноидов проводили спектрофотометрическим методом [22]. Содержание свободных органических кислот определяли титриметрически, каротиноидов — спектрофотометрически [23]. Для количественного определения процианидинов использовали модифицированный метод Porter [24]. Все результаты по содержанию БАВ приводили в пересчете на абсолютно сухое сырье.

О суммарной антиоксидантной активности исследуемого сырья судили по его способности ингибировать аутоокисление адреналина *in vitro* в щелочной среде и тем самым предотвращать образование активных форм кислорода [25]. Для определения содержания тяжелых металлов образцы почв отбирали из корнеобитаемого слоя на глубине от 0 до 10 см, экстракцию подвижных форм металлов проводили ацетатно-аммонийным буферным раствором с pH 4.8. Содержание тяжелых металлов в почве и цветках определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии [21, 26].

Полученные данные обрабатывали на основе методов описательной статистики. Значимость различий между содержанием БАВ в цветках экземпляров *C. fallacina*, произрастающих в условиях умеренной и сильной техногенной нагрузки и в условиях контроля оценивали с помощью *t*-критерия Стьюдента.

Таблица 1. Содержание подвижных форм тяжелых металлов в почвах исследованных территорий Донбасса и цветках *Crataegus fallacina* Klok**Table 1.** The content of active forms of heavy metals in the soils of the studied areas of the Donetsk Region and in the flowers of *Crataegus fallacina* Klok

Интенсивность техногенной нагрузки Intensity of technogenic load	Содержание тяжелых металлов, мг/кг Content of active forms of heavy metals, mg/kg		
	Pb	Cd	Hg
Почва Soil			
Контроль Control	0.105 ± 0.001	0.328 ± 0.002	Менее 0.01 Less than 0.01
Умеренная Background	0.328 ± 0.001	0.621 ± 0.002	Менее 0.01 Less than 0.01
Сильная High	1.641 ± 0.002	0.906 ± 0.006	Менее 0.01 Less than 0.01
Предельно допустимое содержание Maximum allowable concentration [27]	6.0	—	—
Цветки <i>C. fallacina</i> Flowers of <i>C. fallacina</i>			
Контроль Control	Менее 0.1 Less than 0.1	0.013 ± 0.001	0.021 ± 0.001
Умеренная Background	Менее 0.1 Less than 0.1	0.022 ± 0.001	0.057 ± 0.003
Сильная High	Менее 0.1 Less than 0.1	0.021 ± 0.001	0.025 ± 0.001
Предельно допустимое содержание Maximum allowable concentration [21]	6.0	1.0	0.1

Примечание. “—” означает отсутствие общепринятого предельно допустимого содержания.

Note. “—” maximum allowable concentration is not defined.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты определения содержания металлов-загрязнителей в цветках *C. fallacina* и в почве представлены в табл. 1. В зависимости от интенсивности техногенной нагрузки, уровень свинца в исследуемых почвах Донбасса варьирует от 0.1 до 1.6 мг/кг, при этом в цветках его концентрация остается минимальной, что свидетельствует о наличии у растений *C. fallacina* физиологического барьера, препятствующего поступлению этого поллютанта в генеративные органы.

Концентрация кадмия в цветках *C. fallacina* увеличивается с ростом его содержания в почве, однако остается в пределах нормы. Для того чтобы оценить количество кадмия, перешедшее из почвы в растительный материал, был проведен расчет величин коэффициента биологического накопления (КБН), представляющего собой отношение содержания элемента в растениях к содержанию в почве [28]. В зонах контроля и умеренного загрязнения КБН составляет 0.03, при сильной техногенной нагрузке — 0.02. Выявленное снижение величины КБН, наблюдаемое при усилении загрязнения, свидетельствует о способ-

ности растений ограничивать поступление кадмия в цветки при его повышенном содержании в почве.

Содержание ртути во всех анализируемых образцах почв минимально, однако в цветках *C. fallacina* выявлена более значительная концентрация этого элемента, что указывает на аэротехногенное поступление. Максимальная концентрация ртути выявлена в цветках растений из зоны умеренной техногенной нагрузки, при этом превышения ПДК не зарегистрировано. Важно отметить, что даже в условиях урбанизированной среды Донбасса, несмотря на увеличение уровня тяжелых металлов в почве, их содержание в цветках *C. fallacina* не превышает ПДК, следовательно, анализируемый растительный материал может быть использован для изготовления лекарственных средств.

Не менее важным вопросом при анализе возможности выращивания лекарственных растений в урбанизированной среде является исследование динамики концентрации БАВ. Результаты определения содержания различных групп БАВ в цветках растений *C. fallacina*, произрастающих на территории Донбасса в условиях техногенной на-

Таблица 2. Содержание биологически активных веществ в цветках *Crataegus fallacina* Klok. в зависимости от уровня техногенного загрязнения среды (в %, в пересчете на абсолютно сухое сырье)
Table 2. The content of biologically active substances in the flowers of *Crataegus fallacina* Klok. depending on the level of technogenic pollution (% , on oven dry basis)

Группа биологически активных веществ Group of biologically active substances	Уровень техногенной нагрузки The level of technogenic load		
	контроль control	умеренная background	сильная high
Флавоноиды (в пересчете на гиперозид) Flavonoids (expressed as hyperoside)	0.95 ± 0.03	1.10 ± 0.04*	1.45 ± 0.04***
Дубильные вещества (в пересчете на танин) Tannins (expressed as tannin)	4.18 ± 0.15	4.83 ± 0.23*	4.98 ± 0.18**
Свободные органические кислоты (в пересчете на лимонную кислоту) Free organic acids (expressed as citric acid)	8.7 ± 0.4	9.9 ± 0.4*	11.4 ± 0.5**
Аскорбиновая кислота Ascorbic acid	0.092 ± 0.003	0.112 ± 0.004**	0.141 ± 0.006***
Процианидины (в пересчете на цианидина хлорид) Procyanidins (expressed as cyanidin chloride)	2.12 ± 0.08	2.99 ± 0.15***	2.01 ± 0.08
Оксикоричные кислоты (в пересчете на хлорогеновую кислоту) Oxycinnamic acids (expressed as chlorogenic acid)	2.61 ± 0.09	2.76 ± 0.11*	2.80 ± 0.13*
Антоцианы (в пересчете на цианидина-3-О-глюкозид) Anthocyanins (expressed as cyanidin-3-O-glucoside)	1.44 ± 0.06	4.99 ± 0.20***	1.46 ± 0.05
Каротиноиды (в мг%, в пересчете на β-каротин) Carotenoids (mg %, expressed as β-carotene)	0.091 ± 0.004	0.076 ± 0.004*	0.053 ± 0.003***

Примечание. Достоверность различий с контролем: * – $p < 0.05$; ** – $p < 0.01$; *** – $p < 0.001$.
 Note. Significance of differences from the control: * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$.

грузки различной интенсивности, представлены в табл. 2. В первую очередь необходимо оценить соответствие сырья исследуемого вида требованиям ГФ РФ. Согласно соответствующей фармакопейной статье, при оценке доброкачественности цветков боярышника в них нормируется концентрация флавоноидов (не менее 0.5%) [10]. Все изученные нами образцы цветков *C. fallacina* соответствуют этому требованию, более того, концентрация флавоноидов в них превышает норму в 1.9–2.9 раз, что свидетельствует о возможности использования этого вида для изготовления лекарственных препаратов наряду с фармакопейными видами боярышника.

В условиях техногенной среды в цветках *C. fallacina* выявлено повышение уровня всех исследуемых веществ (за исключением каротиноидов), что свидетельствует об их участии в адаптации. Отдельно надо отметить процианидины и антоцианы – их содержание в условиях умеренной техногенной нагрузки увеличивается, а при сильной – не имеет достоверной разницы с контролем. Такая двухфазная зависимость, при которой низкие дозы воздействующего фактора оказывают стимулирующее влияние, а высокие дозы – ингибирующее воздействие, является горметической

[29], и, вероятно, объясняется переключением ресурсов растений на синтез более эффективных в данных условиях фенольных метаболитов.

Растения рода *Crataegus* отличаются тем, что лекарственной ценностью у них обладают и листья, и цветки, и плоды. Используя опубликованные нами ранее данные [14], интересно сравнить динамику содержания БАВ в различных надземных органах *C. fallacina* в условиях техногенной среды. Это позволит расширить представление о формировании экологической толерантности этого вида к условиям городской среды. Установлено, что динамика содержания большинства анализируемых веществ в цветках аналогична таковой в листьях, в то время как в плодах концентрации всех исследуемых нами соединений, за исключением флавоноидов, уменьшаются. Полученные результаты свидетельствуют о важной роли флавоноидов в антиоксидантной системе растений *C. fallacina*. Содержание этих метаболитов (которые, согласно российской ГФ, являются действующими веществами растений рода *Crataegus*) в сырье *C. fallacina* возрастает в следующем ряду: плоды < цветки < листья.

Согласно Европейской Фармакопее, действующими веществами плодов боярышника счита-

Таблица 3. Антиоксидантная активность цветков *Crataegus fallacina* Klok. (в % ингибирования аутоокисления адреналина)**Table 3.** Antioxidant activity of the flowers of *Crataegus fallacina* Klok. (% of adrenaline autooxidation inhibition)

Уровень техногенной нагрузки The level of technogenic load	Антиоксидантная активность, % Antioxidant activity, %		
	3 мин 3 min	5 мин 5 min	7 мин 7 min
Контроль Control	35.4 ± 0.8	38.0 ± 0.9	43.2 ± 1.1
Умеренная Background	47.9 ± 0.9***	50.1 ± 1.0***	53.3 ± 1.1***
Сильная High technogenic load	44.2 ± 0.9***	50.0 ± 0.9***	52.0 ± 1.2***

Примечание. Достоверность различий с контролем: *** — $p < 0.001$.

Note. Significance of differences from the control: *** $p < 0.001$.

ются не флавоноиды, а другие фенольные соединения — процианидины, уровень которых должен составлять не менее 0.06% [13]. Концентрация этих метаболитов в цветках *C. fallacina* удовлетворяет этому требованию и сравнима с концентрацией в плодах, а в условиях техногенной нагрузки — превышает ее (в 1.5 раз при умеренном загрязнении и в 3.1 раз — при сильном). Таким образом, в условиях урбанизированной среды уровень процианидинов в цветках *C. fallacina* является более стабильным, чем в плодах. В предыдущем издании Европейской Фармакопеи [10] указывалась более высокая норма содержания процианидинов в плодах боярышника (не менее 1%). Анализируемые нами плоды *C. fallacina* из зоны сильного загрязнения, в отличие от цветков, не соответствовали этому требованию. Это еще раз доказывает лекарственную ценность исследуемого вида сырья.

Многие БАВ являются низкомолекулярными антиоксидантами и входят в состав многокомпонентной антиоксидантной системы, от активности которой во многом зависит устойчивость растений к загрязнению [30, 31]. В табл. 3 представлены результаты определения антиоксидантной активности цветков *C. fallacina* из различающихся по уровню техногенной нагрузки мест произрастания.

Установлено, что все исследуемые извлечения из цветков *C. fallacina* обладают антиоксидантной активностью. В условиях техногенного прессинга наблюдается ее увеличение, что может быть в определенной степени связано с выявленным нами повышенным уровнем отдельных низкомолекулярных антиоксидантов. Установлено, что антиоксидантная активность различных надземных органов *C. fallacina* с усилением техногенной нагрузки изменяется однонаправленно. При этом способность нейтрализовать активные формы кис-

лорода увеличивается в ряду: плоды < цветки < листья. Полученные результаты согласуются с выявленным нами максимальным содержанием большинства исследуемых веществ, обладающих антиоксидантной активностью, в листьях растений анализируемого вида. С одной стороны, полученные результаты свидетельствуют о достаточной приспособленности растений *C. fallacina* к урбанизированной среде, с другой — о потенциальной возможности их использования в фармации в качестве источника антиоксидантов.

ВЫВОДЫ

Изучение компонентного состава цветков *Crataegus fallacina* Klok. (боярышника обманчивого), собранных из различающихся по уровню техногенной нагрузки мест произрастания на территории Донбасса, показало:

1. В условиях техногенной среды в цветках *C. fallacina* наблюдается увеличение концентрации фенольных соединений (флавоноидов, оксикоричных кислот, процианидинов, дубильных веществ, антоцианов), аскорбиновой и свободных органических кислот на фоне снижения содержания каротиноидов. При этом зависимость содержания антоцианов и процианидинов от интенсивности техногенного загрязнения является горметической.

2. Цветки *C. fallacina* обладают значительной антиоксидантной активностью, которая повышается в условиях техногенного прессинга, что свидетельствует о достаточной приспособленности растений этого вида к городской среде.

3. Цветки *C. fallacina*, заготовленные в Донбассе в условиях техногенной нагрузки различной интенсивности, соответствуют требованиям нормативной документации по содержанию действующих веществ.

4. Несмотря на увеличение уровня ртути и кадмия в почвах по градиенту загрязнения, цветки *C. fallacina* по содержанию исследованных тяжелых металлов (Pb, Cd, Hg) являются экологически безопасными во всех зонах. При усилении загрязнения наблюдается снижение КБН в цветках кадмия, что свидетельствует о способности расте-

ний *C. fallacina* ограничивать его поступление в генеративные органы.

5. Полученные результаты свидетельствуют о целесообразности использования сырья *C. fallacina* в фармации наряду с фармакопейными видами боярышника и доказывают возможность проведения его заготовок в Донбассе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. World Health Organization. Cardiovascular diseases (CVDs). [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-\(cvds\)](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-(cvds))
2. Orhan I.E. 2018. Phytochemical and pharmacological activity profile of *Crataegus oxyacantha* L. (hawthorn) – a cardiotonic herb. – Curr. Med. Chem. 25(37): 4854–4865. <https://doi.org/10.2174/0929867323666160919095519>
3. Kumar D., Thakur K., Sharma S., Kumar S. 2019. NMR for metabolomics studies of *Crataegus rhipidophylla* Gand. – Anal. Bioanal. Chem. 411(10): 2149–2159. <https://doi.org/10.1007/s00216-019-01646-z>
4. Moustafa A.A., Zaghloul M.S., Mansour S.R., Alotaibi M. 2019. Conservation strategy for protecting *Crataegus* × *sinaica* against climate change and anthropologic activities in South Sinai Mountains, Egypt. – Catrina: The International Journal of Environmental Sciences. 18(1): 1–6. <https://doi.org/10.12608/CAT.2019.28577>
5. Venskutonis P.R. 2018. Phytochemical composition and bioactivities of hawthorn (*Crataegus* spp.): review of recent research advances. – J. Food Bioact. 4: 69–87. <https://doi.org/10.31665/JFB.2018.4163>
6. Yahyaoui A., Arfaoui M.O., Rigane G., Hkir A., Amari K., Salem R.B., Ammari Y. 2019. Investigation on the chemical composition and antioxidant capacity of extracts from *Crataegus azarolus* L.: effect of growing location of an important Tunisian medicinal plant. – Chemistry Africa. 2(3): 361–365. <https://doi.org/10.1007/s42250-019-00054-1>
7. Гончаров Н.Ф. 2008. Изучение эфирных масел цветков североамериканских видов боярышников. – Кубанский научный медицинский вестник. 5(104): 52–55. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12364957>
8. Козаева М.И. 2014. Адаптационная способность различных видов *Crataegus* и *Amelanchier* в условиях абиотических и биотических стрессов. – Austrian J. Technical and Natural Sciences. 7–8: 84–85. https://ppublishing.org/media/uploads/journals/journal/AJT_7-8_2014.pdf
9. Шубина Т.В., Павлова А.А., Хисматуллина А.А., Гусакова В.А., Хасанова С.Р., Кудашкина Н.В. 2021. Исследование содержания сапонинов в различных видах рода *Crataegus* L. – Сборник материалов юбилейной международной научной конференции “90 лет – от растения до лекарственного препарата: достижения и перспективы”. М. 499–501. https://doi.org/10.52101/9785870191003_2021_499
10. Государственная фармакопея Российской Федерации. Т. IV. XIV изд. 2018. М. 1883 с. <https://femb.ru/record/pharmacopeia14>
11. Остапко В.М., Приходько С.А., Муленкова Е.Г. 2019. *Ephedra distachya* L. во флоре Донбасса. – Новости науки в АПК. 1–2(12): 36–40. <https://doi.org/10.25930/gqbg-ss6>
12. Лысенко Г.Н., Яровый С.С. 2019. Динамика растительного покрова петрофитных (на гранитах) разнотравно-типчаково-ковыльных степей “Каменных могил” (Донецкая область, Украина) в условиях абсолютной заповедности. – Вопросы степеведения. XV: 189–191. <https://doi.org/10.24411/9999-006A-2019-11529>
13. European pharmacopoeia. 10th ed. 1. 2019. Strasbourg. 4370 p.
14. Виноградова Н.А., Глухов А.З. 2012. Эколого-фитохимические особенности *Crataegus fallacina* Klokov в условиях техногенного загрязнения. – Сибирский экологический журн. 28(1): 115–124. <https://doi.org/10.15372/SEJ20210110>
15. Pasqualini V., Robles C., Garzino S., Greff S., Bousquet-Melou A., Bonin G. 2003. Phenolic compounds content in *Pinus halepensis* Mill. needles: a bioindicator of air pollution. – Chemosphere. 52(1): 239–248. [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(03\)00268-6](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(03)00268-6)
16. Sandre A.A., Pina J.M., Moraes R.M., Furlan C.M. 2014. Anthocyanins and tannins: is the urban air pollution an elicitor factor? – Braz. J. Bot. 37(1): 9–18. <https://doi.org/10.1007/s40415-013-0043-0>
17. Чупахина Г.Н., Масленников П.В., Скрытник Л.Н., Чупахина Н.Ю., Федурев П.В. 2016. Антиоксидантные свойства культурных растений Калининградской области: монография. Калининград. 145 с.
18. Azzazy M.F. 2019. Plant bioindicators of pollution in Sadat City, Western Nile Delta, Egypt. – PLoS One. 15(3): e0226315. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0226315>

19. Nihal A., Mithun P.R., Praveen N. 2019. Effect of heavy metals (Hg, As and La) on biochemical constituents of *Spinacia oleracea*. — J. Pharmacogn. Phytochem. 8(3): 669–674.
<https://www.phytojournal.com/archives/2019/vol8issue3/PartM/8-3-72-162.pdf>
20. Государственная фармакопея Российской Федерации: Т. II. XIV изд. 2018. М. 1449 с. <https://femb.ru/record/pharmacopeia14>.
21. Тарабрин В.П., Кондратюк Е.Н., Башкатов В.Г., Игнатенко А.А., Коришиков И.И., Чернышева Л.В., Шацкая Р.М. Фитотоксичность органических и неорганических загрязнений. 1986. Киев. 215 с.
22. Куркин В.А., Морозова Т.В., Правдивцева О.Е. 2017. Исследования по разработке методики стандартизации листьев боярышника кроваво-красного. — Хим. растит. сырья. 3: 169–173.
<https://doi.org/10.14258/jcprgm.2017031286>
23. Государственная фармакопея Республики Беларусь I. 2007. Т. 2. Молодечно. 471 с.
24. Хишова О.М., Бузук Г.Н. 2006. Количественное определение процианидинов плодов Боярышника. — Хими-ко-фармацевтический журнал. 40(2): 20–21.
<http://chem.folium.ru/index.php/chem/article/view/1819>
25. Хасанова С.Р., Плеханова Т.И., Гашимова Д.Т., Галиахметова Э.Х., Клыш Е.А. 2007. Сравнительное изучение антиоксидантной активности растительных сборов. — Вестн. Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация. 1: 163–166.
<http://www.vestnik.vsu.ru/pdf/chembio/2007/01/2007-01-33.pdf>
26. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. Утвержден 10.03.1992. 62 с.
27. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. Утвержден 01.05.2021. 988 с.
28. Перельман А.И. Геохимия ландшафта. 1975. М. 342 с.
29. Calabrese E.J., Blain R.B. 2009. Hormesis and plant biology. — Environ. Pollut. 157(1): 42–48.
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2008.07.028>
30. Немерешина О.Н., Гусев Н.Ф. 2004. Влияние техногенного загрязнения на содержание флавоноидов в растениях семейства Норичниковых степного Предуралья. — Вестн. Оренбургского государственного университета. 10(35): 123–126.
<https://elibrary.ru/item.asp?id=11528939>
31. Ali M.A., Fahad S., Haider I., Ahmed N., Ahmad S., Hussain S., Arshad M. 2019. Oxidative stress and antioxidant defense in plants exposed to metal / metalloid toxicity. — In: Reactive Oxygen, Nitrogen and Sulfur Species in Plants: Production, Metabolism, Signaling and Defense Mechanisms. P. 353–370.
<https://doi.org/10.1002/9781119468677.ch15>

Effect of Urban Environment on Ecological and Phytochemical Features of *Crataegus fallacina* (Rosaceae) Flowers (the Case of the Donbass)

N. A. Vinogradova^a, *, A. Z. Glukhov^b

^aM. Gorky Donetsk National Medical University, Donetsk, Russia

^bDonetsk Botanical Garden, Donetsk, Russia

*e-mail: arina0vinogradova@yandex.com

Abstract—The article presents the results of a study of the effect of urban environment in the Donbass on the content of biologically active substances, heavy metals and antioxidant activity of the flowers of *Crataegus fallacina* Klok., a poorly studied non-pharmacopoeial species of the genus *Crataegus* L. Under technogenic pollution, in the flowers of *C. fallacina* a decrease in the concentration of carotenoids and an increase in the content of phenolic compounds (flavonoids, procyanidins, oxycinnamic acids, tannins, anthocyanins), ascorbic and free organic acids was detected. The hermetic response of the content of anthocyanins and procyanidins to the pollution level was observed. The flowers of *C. fallacina* have a high total antioxidant activity, which increases under technogenic load, indicating plants sufficient adaptation to the urbanized environment. The ability of *C. fallacina* plants to limit flow of cadmium and lead to generative organs was revealed. The concentration of mercury in flowers exceeds its concentration in soil. *C. fallacina* flowers harvested in the Donbass meet the regulations on the content of active substances and comply with the requirements with regard to the heavy metals content. The obtained results prove the practicability of using *C. fallacina* for pharmaceutical purposes along with pharmacopoeial species of the genus *Crataegus*, and the possibility of their harvest- ing for medicinal use in the Donbass.

Keywords: *Crataegus fallacina*, flowers, technogenic pollution, heavy metals, biologically active substances, antioxidant activity

REFERENCES

1. World Health Organization. Cardiovascular diseases (CVDs). [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-\(cvds\)](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-(cvds))
2. Orhan I.E. 2018. Phytochemical and pharmacological activity profile of *Crataegus oxyacantha* L. (hawthorn) – a cardio-tonic herb. – Curr. Med. Chem. 25(37): 4854–4865. <https://doi.org/10.2174/0929867323666160919095519>
3. Kumar D., Thakur K., Sharma S., Kumar S. 2019. NMR for metabolomics studies of *Crataegus rhipidophylla* Gand. – Anal. Bioanal. Chem. 411(10): 2149–2159. <https://doi.org/10.1007/s00216-019-01646-z>
4. Moustafa A.A., Zaghloul M.S., Mansour S.R., Alotaibi M. 2019. Conservation strategy for protecting *Crataegus x sinaica* against climate change and anthropologic activities in South Sinai Mountains, Egypt. – Catrina: The International Journal of Environmental Sciences. 18(1): 1–6. <https://doi.org/10.12608/CAT.2019.28577>
5. Venskutonis P.R. 2018. Phytochemical composition and bioactivities of hawthorn (*Crataegus* spp.): review of recent research advances. – J. Food Bioact. 4: 69–87. <https://doi.org/10.31665/JFB.2018.4163>
6. Yahyaoui A., Arfaoui M.O., Rigane G., Hkir A., Amari K., Salem R.B., Ammari Y. 2019. Investigation on the chemical composition and antioxidant capacity of extracts from *Crataegus azarolus* L.: effect of growing location of an important Tunisian medicinal plant. – Chemistry Africa. 2(3): 361–365. <https://doi.org/10.1007/s42250-019-00054-1>
7. Goncharov N.F. 2008. Studying of essence flowers North American kinds of hawthorns. – Kuban Scientific Medical Bulletin. 5(104): 52–55. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12364957> (In Russian)
8. Kozueva M.I. 2014. Adaptive capacity of different species of *Crataegus* and *Amelanchier* under abiotic and biotic stresses. – Austrian J. Technical and Natural Sciences. 7–8: 84–85. https://ppublishing.org/media/uploads/journals/journal/AJT_7-8_2014.pdf (In Russian)
9. Shubina T.V., Gainetdinova A.A., Khismatullina A.A., Gusakova V.A., Khasanova S.R., Kudashkina N.V. 2021. Study of saponin content in various species of the genus *Crataegus* L. – In: [90 years – from plant to drug: achievements and prospects. Proc. of intern. sci. conf.]. Moscow. 499–501. https://doi.org/10.52101/9785870191003_2021_499 (In Russian)
10. [The State Pharmacopoeia of the Russian Federation XIV]. 2018. V. 4. Moscow. 1883 p. <https://femb.ru/record/pharmacopea14> (In Russian)
11. Ostapko V.M., Prikhodko S.A., Mulenkov E.G. 2019. [*Ephedra distachya* L. in the flora of the Donbass]. – Novosti nauki v APK. 1–2(12): 36–40. <https://doi.org/10.25930/gqbg-ss60> (In Russian)
12. Lysenko G.N., Yarovy S.S. 2019. The dynamics of vegetation cover of petrophytic (on granites) steppes of “Kamennyye Mohyly” (Donetsk region, Ukraine) under the influence of the absolute reserve regime. – Steppe Science. XV: 189–191. <https://doi.org/10.24411/9999-006A-2019-11529> (In Russian)
13. European pharmacopoeia. 10th ed. 1. 2019. Strasbourg. 4370 p.
14. Vinogradova N.A., Glukhov A.Z. 2021. Ecological and phytochemical features of *Crataegus fallacina* Klokov under conditions of technogenic pollution. – Contemp. Probl. Ecol. 14(1): 90–97. <https://doi.org/10.1134/S1995425521010091>
15. Pasqualini V., Robles C., Garzino S., Greff S., Bousquet-Melou A., Bonin G. 2003. Phenolic compounds content in *Pinus halepensis* Mill. needles: a bioindicator of air pollution. – Chemosphere. 52(1): 239–248. [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(03\)00268-6](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(03)00268-6)
16. Sandre A.A., Pina J.M., Moraes R.M., Furlan C.M. 2014. Anthocyanins and tannins: is the urban air pollution an elicitor factor? – Braz. J. Bot. 37(1): 9–18. <https://doi.org/10.1007/s40415-013-0043-0>
17. Chupakhina G.N., Maslennikov P.V., Skrypnik L.N., Chupakhina N.Y., Feduraev P.V. 2016. [Antioxidant properties of cultivated plants of the Kaliningrad region: monograph]. Kaliningrad. 145 p. (In Russian)
18. Azzazy M.F. 2019. Plant bioindicators of pollution in Sadat City, Western Nile Delta, Egypt. – PLoS One. 15(3): e0226315. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0226315>
19. Nihal A., Mithun P.R., Praveen N. 2019. Effect of heavy metals (Hg, As and La) on biochemical constituents of *Spinacia oleracea*. – J. Pharmacogn. Phytochem. 8(3): 669–674. <https://www.phytojournal.com/archives/2019/vol8issue3/PartM/8-3-72-162.pdf>
20. [The State Pharmacopoeia of the Russian Federation XIV]. 2018. V. 2. Moscow. 1449 p. <https://femb.ru/record/pharmacopea14> (In Russian)
21. Tarabrin V.P., Kondratyuk E.N., Bashkatov V.G., Ignatenko A.A., Korshikov I.I., Chernysheva L.V., Shatskaya R.M. [Phytotoxicity of organic and inorganic pollutants]. 1986. Kyiv. 215 p. (In Russian)

22. Kurkin V.A., Morozova T.V., Pravdivtseva O.E. 2017. [Studies on the development of a methodology for standardization of leaves of *Crataegus sanguinea* Pall.] — *Khimija rastitel'nogo syr'ja*. 3: 169–173.
<https://doi.org/10.14258/jcprm.2017031286> (In Russian)
23. [The State Pharmacopoeia of the Republic of Belarus I]. 2007. V. 2. Molodechno. 471 p. (In Russian)
24. Khishova O.M., Buzuk G.N. 2006. Quantitative determination of procyanidins in hawthorn fruits. — *Khimiko-farmatsevticheskii zhurnal*. 40(2): 20–21.
<http://chem.folium.ru/index.php/chem/article/view/1819> (In Russian)
25. Khasanova S.R., Plekhanova T.I., Gashimova D.T., Galiakhmetova E.K., Klysh E.A. 2007. [Comparative study of antioxidant activity of herbal mixtures]. — *Proceedings of Voronezh State University. Series: Chemistry. Biology. Pharmacy*. 1: 163–166.
<http://www.vestnik.vsu.ru/pdf/chembio/2007/01/2007-01-33.pdf> (In Russian)
26. [Guidelines for the determination of heavy metals in agricultural soils and crop production]. Approved 03.10.1992. 62 p. (In Russian)
27. [SanPiN 1.2.3685-21. Hygienic standards and requirements for ensuring the safety and (or) security of environmental factors for humans]. Approved on 01.05.2021. 988 p. (In Russian)
28. Perel'man A.I. [Geochemistry of the landscape]. 1975. Moscow. 342 p. (In Russian)
29. Calabrese E.J., Blain R.B. 2009. Hormesis and plant biology. — *Environ. Pollut.* 157(1): 42–48.
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2008.07.028>
30. Nemereshina O.N., Gusev N.F. 2004. [The effect of technogenic pollution on the content of flavonoids in plants of the *Scrophulariaceae* family of the steppe Urals.]. — *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta*. 10(35): 123–126.
<https://elibrary.ru/item.asp?id=11528939> (In Russian)
31. Ali M.A., Fahad S., Haider I., Ahmed N. Ahmad S., Hussain S., Arshad M. 2019. Oxidative stress and antioxidant defense in plants exposed to metal / metalloids toxicity. — In: *Reactive Oxygen, Nitrogen and Sulfur Species in Plants: Production, Metabolism, Signaling and Defense Mechanisms*. P. 353–370.
<https://doi.org/10.1002/9781119468677.ch15>