

Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-3-36-44>
УДК: 633.88:581.543:631.5

М.С. Антоненко^{1*}
В.С. Меснянкина², Е.Л. Маланкина¹

¹ ФГБНУ "Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений" 117216, Россия, Москва, ул. Грина, д. 7

² ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева» 127434, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49

*Автор для переписки:
misha_antonenko@mail.ru

Финансирование. Статья выполнена в соответствии с пунктом 4.1.2.1. плана НИР (FGUU-2022-0009) (Поиск, сохранение, изучение генетических ресурсов растений и использование их в селекционном процессе при создании новых форм, сортов и гибридов сельскохозяйственных, лекарственных и ароматических культур).

Вклад авторов: Антоненко М.С.: формулирование идеи, исследовательских целей и задач, визуализация/представление данных, подготовка и создание черновика рукописи. Меснянкина В.С.: предоставление учебных материалов, реагентов, материалов, лабораторных образцов, приборов, вычислительных ресурсов и других инструментов анализа, отслеживание воспроизводимости результатов/экспериментов. Маланкина Е.Л.: надзор и руководство за планированием и выполнением исследовательской деятельности, включая наставничество, редактирование рукописи.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Антоненко М.С., Меснянкина В.С., Маланкина Е.Л. Вариативность содержания фенольных соединений в листьях кипрея узколистного (*Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop.) в зависимости от условий произрастания. *Овощи России*. 2024;(3):36-44. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-3-36-44>

Поступила в редакцию: 27.02.2024

Принята к печати: 06.04.2024

Опубликована: 27.05.2024

Mikhail S. Antonenko¹,
Valeria S. Mesnyankina², Elena L. Malankina¹

¹ All-Russian Scientific Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants Russia Moscow, Greena st., 7, 117216

² Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy Russia, Moscow, Timiryazevskaya st., 49, 127550

*Correspondence Author:
misha_antonenko@mail.ru

Funding. The article was completed in accordance with clause 4.1.2.1. research plan (FGUU-2022-0009) (Search, preservation, study of plant genetic resources and their use in the breeding process when creating new forms, varieties and hybrids of agricultural, medicinal and aromatic crops).

Authors' Contribution: Antonenko M.S.: formulation of the idea, research goals and objectives, visualization/presentation of data, preparation and creation of a draft manuscript. Mesnyankina V.S.: provision of educational materials, reagents, materials, laboratory samples, instruments, computing resources and other analysis tools, monitoring the reproducibility of results/experiments. Malankina E.L.: supervision and management of the planning and execution of research activities, including mentoring, manuscript editing.

Conflict of interest: The authors declare that there is not conflict of interest regarding the publication.

For citation: Antonenko M.S., Mesnyankina V.S., Malankina E.L. Variety of active ingredients in leaves and flowers of *Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop., depending on type of natural population. *Vegetable crops of Russia*. 2024;(3):36-44. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-3-36-44>

Received: 27.02.2024

Accepted for publication: 06.04.2024

Published: 27.05.2024

Вариативность содержания фенольных соединений в листьях кипрея узколистного (*Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop.) в зависимости от условий произрастания

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Кипрей является экологически пластичным видом, не требующим высокого плодородия, и широко распространён на территории России. Многочисленные фитохимические исследования сырья кипрея показали, что он содержит обширный перечень фармакологически значимых соединений, накапливающихся как в результате первичного, так и вторичного метаболизма. Важнейшей группой, образованной в результате вторичного метаболизма, являются полифенолы, представленные флавоноидами, фенольными кислотами и эллаготаннинами (в т.ч. энотеин В), которые могут составлять до 15% сырья (листа).

Цель – выявление вариативности и взаимосвязей между содержанием различных групп фенольных соединений в сырье кипрея узколистного в зависимости от экологических условий произрастания.

Методы и материалы. В работе на первом этапе был применен картографический метод. Исследованы образцы кипрея из 27 точек. Образцы были собраны на различных по экологии участках Московской, Калужской и Ярославской областей. Фенольные соединения определяли в сухом сырье в водно-спиртовой вытяжке с помощью спектрофотометра: флавоноиды в пересчёте на рутин, а дубильные вещества и сумму фенольных соединений с реактивом Фолина-Чокальтеу в пересчёте на галловую кислоту.

Результаты. Получены данные количественного содержания полифенолов, дубильных веществ и флавоноидов в сырье кипрея узколистного, собранного в различных эколого-почвенных условиях. Проведено сопоставление полученных данных путём корреляционного анализа. В результате анализа на содержание суммы фенольных соединений образцов сырья кипрея узколистного, произраставшего в разных почвенных и экологических условиях, выявлено, что в большинстве образцов содержание этой группы соединений колебалось от 9 до 11%, содержание флавоноидов в листьях укладывалось в диапазон значений 2,5-3,5%, а содержание дубильных веществ – 5,0-6,5%. Обнаружена тесная корреляция между содержанием суммы фенольных соединений и дубильными веществами ($R=0,972$), что косвенно указывает на большую вариативность интенсивности биосинтеза вторичных метаболитов по шикиматному пути в растении кипрея узколистного и ведущей роли локальных условий мест произрастания.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

Chamaenerion angustifolium, *Epilobium angustifolium*, кипрей узколистный, флавоноиды, фенольные соединения, дубильные вещества.

Variety of active ingredients in leaves and flowers of *Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop., depending on type of natural population

ABSTRACT

Relevance. Nowadays the popularity of *Chamaenerion angustifolium* as a medicinal plant and as a tea is growing noticeably. Fireweed is an ecologically plastic species, that does not require high soil fertility and is widespread in Russia. Medical and food industries use leaf as a raw material of fireweed. Series of phytochemical studies of *Chamaenerion* raw material have shown that it contains a wide variety of pharmacologically significant compounds, that accumulate as a result of both primary and secondary metabolism. The most important groups, formed as a result of secondary metabolism, are polyphenols, including flavonoids, phenolic acids and ellagitannins (including enothein B). Concentration of these chemical compounds equals 15% and even higher of the raw material (leaf).

The aim. Identification of variability and relationships between the content of various groups of phenolic compounds in raw material of *Chamaenerion angustifolium*, depending on ecological conditions.

Methods. At the first stage of our work was used the cartographic method. Were studied specimens from 27 points, growing in ecologically different areas of the Moscow, Kaluga and Yaroslavl regions. Phenolic compounds were determined using a spectrophotometer: flavonoids in terms of rutin and the amount of phenolic compounds, using the Folin-Ciocalteu reagent in terms of gallic acid.

Results. The content of polyphenols, tannins and flavonoids in raw material of fireweed, collected in different ecological and soil aspects, was measured. Measurement results were compared, using correlation analysis. As the result of content analysis, it was found that the content of polyphenols in the leaves ranged from 9 to 11%, the content of flavonoids fell within the chain range of 2.5-3.5%, tannin content – 5.0-6.5%. A close correlation was found between the content of phenolic compounds and tannins ($R=0.972$). It indicates, that the shikimate pathway is the main process of biosynthesis secondary metabolites in the *Chamaenerion angustifolium* plant. Also it means the leading role of local ecological conditions of the studied areas.

KEYWORDS:

Epilobium angustifolium, fireweed, flavonoids, phenols, tannins



Введение

Производство сырья кипрея узколистного или иван-чая узколистного, популярно во многих регионах России [1]. Кипрей узколистный является экологически пластичным видом, не требующим высокого плодородия, но предпочитающим высокую степень минерализации и нарушенные ландшафты [2, 3, 4].

В качестве сырья кипрея узколистного используют лист, который собирают в начале цветения, до того, как нижние цветки образуют созревшие семена и начнут «пушиться».

Многочисленные фитохимические исследования сырья кипрея показали, что он содержит обширный перечень фармакологически значимых соединений, накапливающихся как в результате первичного, так и вторичного метаболизма [5]. Первичные метаболиты представлены полисахаридами, в основном пектинами (до 15%), которые сильно затрудняют процесс анализа других соединений [6]. Важнейшей группой, образованной в результате вторичного метаболизма, являются полифенолы, представленные флавоноидами, фенольными кислотами и эллаготаннинами (в т.ч. энотеин В), которые могут составлять до 15% сырья (листа) [5,7]. Энотеин В рекомендуется учитывать в качестве ключевого показателя при стандартизации растительного сырья [8]. Кроме того, в иван-чае обнаружены лигнаны, стероиды, тритерпеноиды, жирные кислоты и эфирные масла, которые находятся в связанном состоянии и освобождаются при ферментации, что и придаёт более сильный аромат ферментированному продукту. Флавоноиды представлены кемпферолом, кверцетином (в основном кверцетин 3-О-глюкоронид), имирицетином [9]. В верхних частях иван-чая встречаются также алкалоиды, аскорбиновая кислота, каротиноиды (α -, β -каротин, ликопин, лютеин, зеаксантин, виолаксантин). Важными соединениями являются стеролы (помимо β -ситостерола, кампестерола, стигмастерола) и тритерпены

(олеаноловая кислота, урсоловая кислота, α - и β -амирин). В эфирном масле кипрея идентифицировано более 50 различных соединений, наиболее заметные из которых анетол и кариофиллены [10]. Из минералов обнаружены железо, марганец, бор и другие [11].

Полифенолы иван-чая обладают широким спектром действия. В частности, кемпферол-3-О-рамнозид обладает антибактериальным, ДНК-протекторным, антиоксидантным и противовоспалительным действием, а, например, энотеин В обладает антиканцерогенным эффектом [4].

Кроме медицины, иван-чай – перспективное пищевое растение. В частности, разрабатываются многочисленные рецептуры чая, хлеба и других продуктов с добавлением экстрактов или порошка сырья этого растения [12].

При организации сбора и культивирования иван-чая важно учитывать существенную межпопуляционную фитохимическую изменчивость, а также колебания содержания фенолов в зависимости от фазы развития [13]. Так, выявлено различие в общем содержании флавоноидов и фенольных соединений в 26,7 мг/г и 73,9 мг/г соответственно при анализе образцов, собранных в фазу полного цветения в пределах одной природной зоны, но в различных популяциях, а максимум фенольных соединений отмечен в фазе конца цветения [10].

Цель работы – выявление вариабельности и взаимосвязей между содержанием различных групп фенольных соединений в сырье кипрея узколистного в зависимости от условий произрастания.

Методы и материалы

Проводился анализ дикорастущих популяций кипрея узколистного и отбор образцов в 27 точках на территории трёх регионов центра Европейской части России, а именно в Московской, Ярославской и Калужской областях в 2021 году.

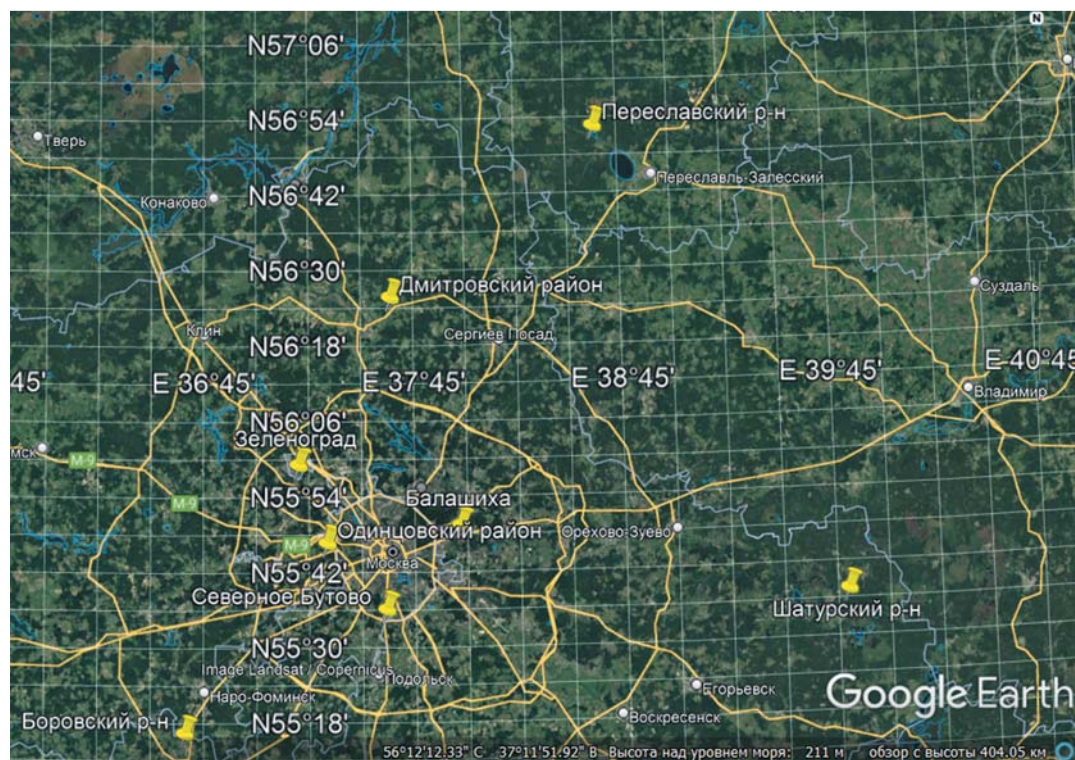


Рис. 1. Расположение исследуемых районов на спутниковом снимке. Источник: Google Earth
Fig. 1. Location of the study areas on a satellite image. Source: Google Earth

В результате предыдущих исследований нами отмечены обширные заросли кипрея в этих геолокациях. Кроме того, хорошая транспортная доступность позволяла проводить сбор сырья и учёт максимально сжато по времени, чтобы исключить влияние других факторов, таких как погода и фаза развития растения. В каждом из регионов были выбраны районы, территории которых и стали полигоном применения картографического метода (рис. 1).

ной территории с учётом транспортной доступности (рис. 2,3).

Часть точек исследования расположены на расстоянии порядка десятков метров друг от друга для выявления локальных особенностей. С целью читаемого отображения их на изображении проиллюстрируем увеличенный фрагмент спутникового снимка (рис. 3).

В пределах Московского региона точками исследования и сбора образцов были охвачены

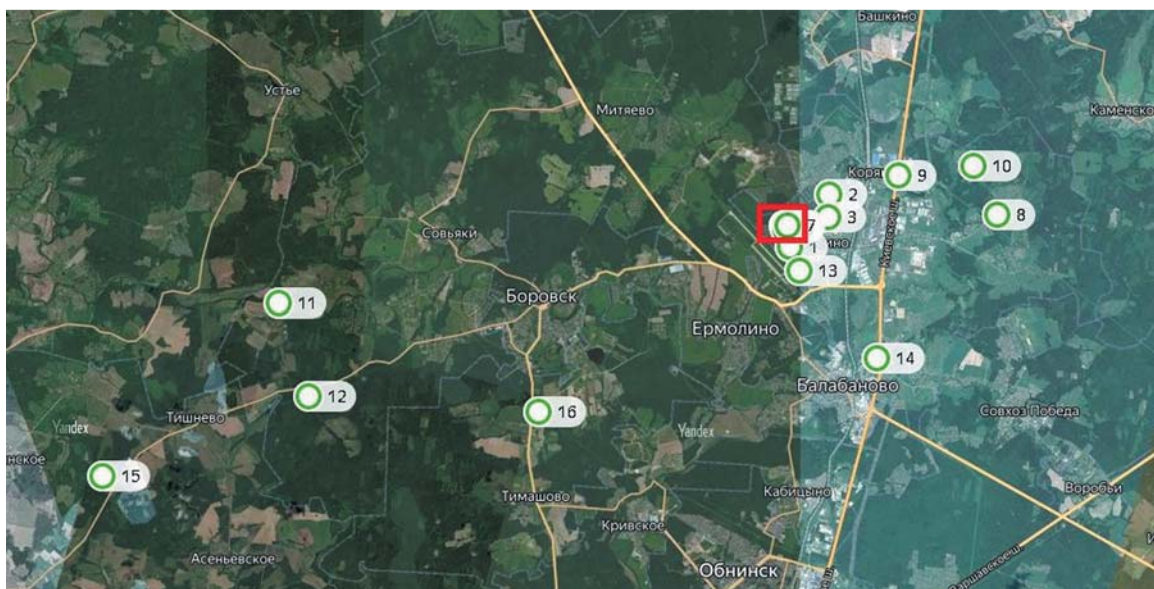


Рис. 2. Расположение точек исследования кипрея узколистного на спутниковом снимке в пределах Боровского района Калужской области. Красным контуром выделена область рисунка 3. Источник: Сервис «Яндекс карты» (<https://yandex.ru/maps/?l=sat%2Cskl&ll=36.616229%2C55.220178&mode>)

Fig. 2. Location of the study areas in Bоровsky district, Kaluga oblast on a satellite image. The area of figure 3 is highlighted in red. Source: Yandex maps

Из общего числа локаций, 7 точек находятся в различных районах Московской области, одна точка – в Переславском районе Ярославской области, а 16 оставшихся точек расположены в Боровском районе Калужской области. Выбранные места изучения кипрея в Боровском районе максимально полно охватывают различные природные и антропогенные условия дан-

Дмитровский, Одинцовский, Солнечногорский и Шатурский районы Московской области, а также городской округ Балашиха, окрестности города Зеленоград (формально также Солнечногорский район) и район Северное Бутово города Москвы (Ботанический сад ВИЛАР). Отличия между выбранными точками заключаются не только в географиче-



Рис. 3. Расположение точек исследования кипрея узколистного на спутниковом снимке в пределах лесополосы и зарастающего поля. Боровский район Калужской области. Источник: Сервис «Яндекс карты»

Fig. 3. Location of the study areas in the windbreak and abandoned field on a satellite image. Bоровsky district, Kaluga oblast. Source: Yandex maps

ской широте и долготе, но и в природно-антропогенных условиях.

Условия Дмитровского района и окрестностей города Зеленограда обусловлены размещением на северном и южном склонах Клинско-Дмитровской гряды соответственно. При этом окрестности Зеленограда существенно более антропогенно трансформированы селитебными землями, чем территория Дмитровского района.

Одинцовский район представлен ландшафтами долинного комплекса Москвы-реки, для которых характерны сосновые леса на песчаных почвах. Однако природа района существенно преобразована жилищным строительством.

Солнечногорский район расположен в центральной возвышенной части Клинско-Дмитровской гряды. Ландшафты этой территории покоятся на глинистых моренных отложениях. Антропогенная трансформация территории преимущественно сельскохозяйственная.

Шатурский район находится в западной части обширной зандровой равнины с плоским рельефом, обусловленным ледниковыми песчаными отложениями. В прошлом Шатурский район подвергался значительной антропогенной нагрузке. Было развито сельское хозяйство и добыча торфа. В настоящее время практически вся территория используется слабо. Нередки низовые пожары, что особенно важно для кипрея узколистного.

В городском округе Балашиха (Московская область) и в районе Северное Бутово (г. Москва) естественные местообитания растительных сообществ единичны и почти изолированы. Помимо этого, они испытывают существенную и длительную антропогенную нагрузку. Однако характер этой нагрузки, а также изначальные природные условия различны.

Территория городского округа Балашиха находится на самой окраине плоской песчаной Мещёрской низменности. Она подвергается существенному длительному воздействию от промышленных объектов, районов плотной застройки и автодорог Московской области и Москвы.

Ландшафты Теплостанской возвышенности района Москвы Северное Бутово во многом определили характер землепользования этих мест. Крутые склоны густой овражно-балочной сети на глинистых почвах затрудняют хозяйственное освоение. Район не испытывает прямого воздействия крупных промышленных объектов, однако расположен вблизи загруженных автодорог.

В Ярославской области в качестве территории проведения исследований был выбран Переславский район. В его пределах находятся три из шести преобладающих типов ландшафта Ярославской области. Район примечателен ландшафтными контрастами. От водораздельной гряды бассейнов реки Волга, озера Плещеево и озера Неро (Тархов холм) до древнеледниковых озёрных котловин Плещеева озера.

Среди районов Калужской области предпочтение было отдано Боровскому. Помимо ландшафтных контрастов (от древней долины реки Протва и протяжённых междуречных лесных массивов до крайне трансформированных антропогенных территорий) он также выгодно отличается детальной изученностью природных

условий и отличной транспортной доступностью.

Сырьё собирали в фазу массового цветения, разделяли на морфологические группы и сушили воздушно-теневым методом.

Масса навески сухого сырья для определения суммы фенольных соединений, дубильных веществ и флавоноидов составляла 0,5 г, объём водно-спиртовой смеси (50%) 50 мл. Продолжительность экстракции на водяной бане с обратным холодильником 30 минут. После процеживания фильтрат доводили до первоначального объёма 50% спиртом. Для определения суммы фенольных соединений использовали модифицированный метод Фолина-Чокальтеу для анализа суммарного содержания полифенолов и содержания дубильных веществ в сухих растительных экстрактах в пересчёте на галловую кислоту (Галловая кислота, CAS 149-91-7, аналитический стандарт, Clearsynth). Длина волны 765 нм. [14, 15]. Сумму флавоноидов определяли спектрофотометрическим методом (спектрофотометр «Shimadzu»). Принцип метода определения суммарного содержания флавонолов и флавонов основан на образовании кислотоустойчивых комплексов алюминия(III) с кето-группой C-4 и/или C-3-, C-5-гидроксильными группами флавонов и флавонолов, имеющих максимумы поглощения в диапазоне длин волн 415–440 нм [14, 15]. Стандарт – рутин тригидрат 95%-й («Sigma»), CAS: 20767150-9. Расчёты коэффициентов корреляции и аппроксимации проводили с помощью пакета Microsoft Excel. Учитывая, что основной морфологической группой сырья для кипрея узколистного всё же являются листья, в последующие годы мы сосредоточились на содержании фенольных соединений и их отдельных групп в этой части растений.

Результаты исследований и их обсуждение

Как уже было сказано выше, фенольные соединения – это очень обширная и разнообразная группа соединений, выполняющая самые разные функции в самом растении и являющаяся фармакологически значимым ингредиентом сырья, определяющим его свойства в качестве лекарственного. Вместе с тем фенольные соединения важны и для самого растения, так как выполняют в нём самые разные функции и соответственно накапливаются или используются самим растением при определённых условиях или выполняют защитную функцию от ультрафиолета как флавоноиды или от фитопатогенов как танины и пирокатехины [16, 17, 18]. Поэтому внутривидовая вариабельность накопления определённых соединений представляет интерес с точки зрения качества сырья и дальнейшего отбора перспективных образцов для введения в культуру. Годом ранее нами проводились исследования по изучению вариабельности содержания флавоноидов в листьях и соцветиях кипрея [19]. Однако флавоноиды являются в сырье иван-чая не самой значимой группой, и для медицины больший интерес представляют другие группы фенольных соединений, имеющие фармакологическое значение.

В настоящее время рассматриваются два основных пути биосинтеза всего разнообразия фенольных соединений – шикиматный (основной) и ацетатно-малонатный [20]. По шикиматному пути образуются аминокислота фенилаланин, являющаяся предшественником



**Зеленоград, склон
к реке Горетовка с порослью мелколиственных
пород деревьев**



**Шатурский район Московской области,
насыпь между затопленными торфоразработками,
под пологом мелколиственных пород деревьев**



Солнечногорский район Московской области, рядом с Зеленоградом, вырубка



многих фенольных соединений, а частности оксикоричных кислот и др. соединений [21]. При образовании флавоноидов, антрахинонов задействованы оба пути шикиматный и ацетатно-малонатный. Конденсированные дубильные вещества образуются из флавоноидов и соответственно также являются продуктами смешанного пути. Поэтому рассматривая накопление разных групп фенольных соединений надо учитывать, что их пути биосинтеза существенно различаются и, соответственно, их содержание может определяться разными условиями и не коррелировать между собой, что и было нами отмечено [22].

Необходимо отметить, что в наших опытах географическая широта отличалась незначительно, но экология участков и почвенные условия были различны. Для минимизации воздействия погодных условий сбор сырья проводился в максимально сжатый срок. Учитывая небольшую удалённость популяций друг от друга, их можно считать как генетически единую группу и предположить, что содержание фармакологически значимых соединений определяется в основном экологическими условиями мест произрастания. Полученные результаты представлены в таблицах 1 (Калужская область) и 2 (Московская область).

Как видно из данных таблицы 1, содержание суммы фенольных соединений колебалось в пределах 9,27-12,12%, а максимальное значение отмечено на зарас-

тающих полях и поляне в лесу (более 11%). Несколько меньше содержание суммы фенольных соединений было на просеках, в лесополосах.

Содержание флавоноидов колебалось от 2,15 до 4,15% и было существенно выше в пойме реки. Содержание дубильных веществ колебалось от 4,66 до 7,8% на поляне в лесу при затенении. В целом сравнивая наши результаты с результатами других авторов, следует отметить, что содержание танинов было невысоким, то есть ниже заявленных 10-15% [5]. Содержание суммы фенольных соединений в сырье кипрея, собранных в разных локациях Московской области характеризовалось очень сильной вариабельностью и составило от 5,78% в г.о. Черноголовка до 10,78% в районе г. Зеленограда, но в целом было ниже, чем в Калужской области, где у большинства образцов показатель не превышал 10% (табл. 2). Содержание флавоноидов также в целом было ниже и колебалось от 2,29% в Волоколамском районе до 3,43% в Ногинском районе.

Анализируя данные полученные в двух областях, а также результаты предыдущего года [19] можно сделать вывод, что для большинства образцов показатель содержания флавоноидов в листьях, независимо от места сбора, укладывался в значения между 2,5-3,5%.

Содержание дубильных веществ в условиях Московской области (табл.2) составило от 2,76% в г.о.

Таблица 1. Содержание суммы фенольных соединений, дубильных веществ и флавоноидов в листьях кипрея узколистного, Калужская область, 2021 год
Table 1. The content of phenols, tannins and flavonoids in leaves of *Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop., Kaluga oblast, 2021

Место сбора	Дата сбора	Координаты	Содержание в сухом сырье, %		
			Фенольные соединения в пересчёте на галловую кислоту	Флавоноиды в пересчёте на рутин	Дубильные вещества в пересчёте на галловую кислоту
Точка 1 зарастающее поле	08.07.2021	55.228421, 36.625574	11,68±0,39b	2,63±0,18c	6,81±0,23a
Точка 2 обочина дороги в лесу	08.07.2021	55.237061, 36.647384	10,72±0,49a	3,25±0,21a	6,64±0,16a
Точка 3 обочина возле вырубки	08.07.2021	55.237061, 36.647384	8,63±0,32d	3,26±0,19a	4,92±0,23bd
Точка 4 между лесополосой (берёз) и местной дорогой	08.07.2021	55.234027, 36.622922	10,53±0,41a	2,23±0,14b	6,56±0,22a
Точка 5 лесополоса (берёзы)	08.07.2021	55.234027, 36.622922	8,21±0,34d	2,16±0,17b	4,66±0,19b
Точка 6 зарастающее поле (среди молодняка берёз)	08.07.2021	55.233097, 36.624724	9,79±0,37c	2,66±0,11c	6,02±0,24c
Точка 7 зарастающее поле (кочка)	08.07.2021	55.233097, 36.624724	11,52±0,33b	3,64±0,19a	6,74±0,21a
Точка 8 край вспаханного поля	08.07.2021	55.238138, 36.745574	9,97±0,44c	2,15±0,11b	6,42±0,26 ac
Точка 9 влажная обочина шоссе	08.07.2021	55.249539, 36.688668	9,53±0,29c	3,07±0,2a	5,39±0,17d
Точка 10 поляна в лесу	08.07.2021	55.253844, 36.732699	12,12±0,52b	2,81±0,22c	7,80±0,29
Точка 11 пойма реки Протва	09.07.2021	55.209329, 36.330854	11,51±0,58b	5,29±0,48	5,51±0,36d
Точка 12 просека в крупном лесном массиве	09.07.2021	55.178366, 36.349565	9,58±0,67c	2,86±0,23acd	5,22±0,42d
Точка 13 зарастающее поле (открытый участок)	09.07.2021	55.221019, 36.629626	11,10±0,36b	2,83±0,18cd	6,67±0,25a
Точка 14 пойма реки Истья	09.07.2021	55.191374, 36.677102	11,62±0,42b	4,15±0,24	6,81±0,26a
Точка 15 вырубка	10.07.2021	55.359056, 36.657867	10,62±0,28a	3,24±0,21d	5,99±0,14
Точка 16 просека ЛЭП	10.07.2021	55.400365, 36.782770	9,27±0,24c	3,22±0,18d	5,02±0,24c

Значения в столбцах с одинаковыми индексами статистически не различаются согласно тесту Дункана при $p < 0.05$

Таблица 2. Содержание полифенолов, флавоноидов и дубильных веществ в листьях кипрея в условиях Московской области (2021 год)
Table 2. The content of polyphenols, flavonoids and tannins in leaves of *Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop., Moscow oblast, 2021

Место сбора	Дата сбора	Координаты	Содержание, %		
			Фенольные соединения в пересчёте на галловую кислоту	Флавоноиды в пересчёте на рутин	Дубильные вещества в пересчёте на галловую кислоту
Дмитровский район, Рыбное	18.07.2021	56.389479, 37.621404	9,89±0,26 b	2,78±0,11 c	6,08±0,14 b
Зеленоград	29.06.2021	55.959839, 37.153504	10,78±0,29 a	3,38±0,10 a	6,61±0,12 a
Одинцовский район, Ромашково	29.06.2021	55.740663, 37.303573	9,58±0,19 b	2,86±0,11 bc	5,22±0,19 c
Г.о. Балашиха	30.06.2021	55.786591, 37.938241	8,64±0,26 c	2,66±0,09 c	4,88±0,13 d
Г.о. Черноголовка	21.07.2021	56.028205, 38.393001	5,79±0,29 e	2,23±0,014 d	2,76±0,14 f
Волоколамский район	31.07.2021	56.024780, 36.040372	7,31±0,14 d	2,29±0,012 d	3,77±0,19 e
Ногинский район	05.08.2021	55.828236, 38.448474	9,79±0,28 b	3,43±0,17 a	5,59±0,21 c
Солнечногорский район	20.07.2021	56.141567, 36.865584	8,88±0,31 c	3,01±0,16 b	5,27±0,16 c

Значения в столбцах с одинаковыми индексами статистически не различаются согласно тесту Дункана при $p < 0.05$



Рис. 4. Взаимосвязь между содержанием суммы фенольных соединений и суммы флавоноидов в листьях кипрея узколистного

Fig. 4. Relationship between the content of phenols and flavonoids in leaves of *Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop.

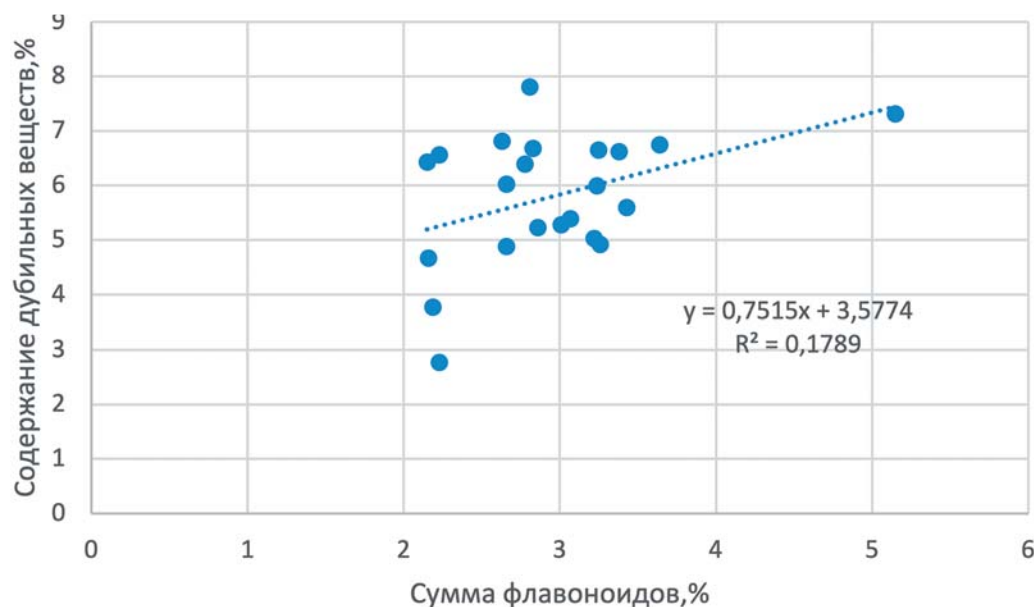


Рис. 5. Взаимосвязь между содержанием суммы флавоноидов и дубильных веществ в листьях кипрея узколистного

Fig. 5. Relationship between the content of flavonoids and tannins in leaves of *Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop.

Черноголовка (образец в целом характеризовался низким содержанием фенолов), что является очень низким показателем, до 6,61% в образце из Зеленограда.

Учитывая, что фенольные соединения могут иметь как шикиматный, так и смешанный путь биосинтеза, нами была сделана попытка проведения корреляционного анализа и выявления взаимосвязи между содержанием отдельных групп и суммы фенольных соединений. Как видно из графика ниже (рис. 4), взаимосвязь между содержанием суммы фенолов и флавоноидов была умеренной ($R=0,455$).

Также умеренной была взаимосвязь между содержанием флавоноидов и дубильных веществ, коэффициент корреляции составил $R=0,423$ (рис. 5).

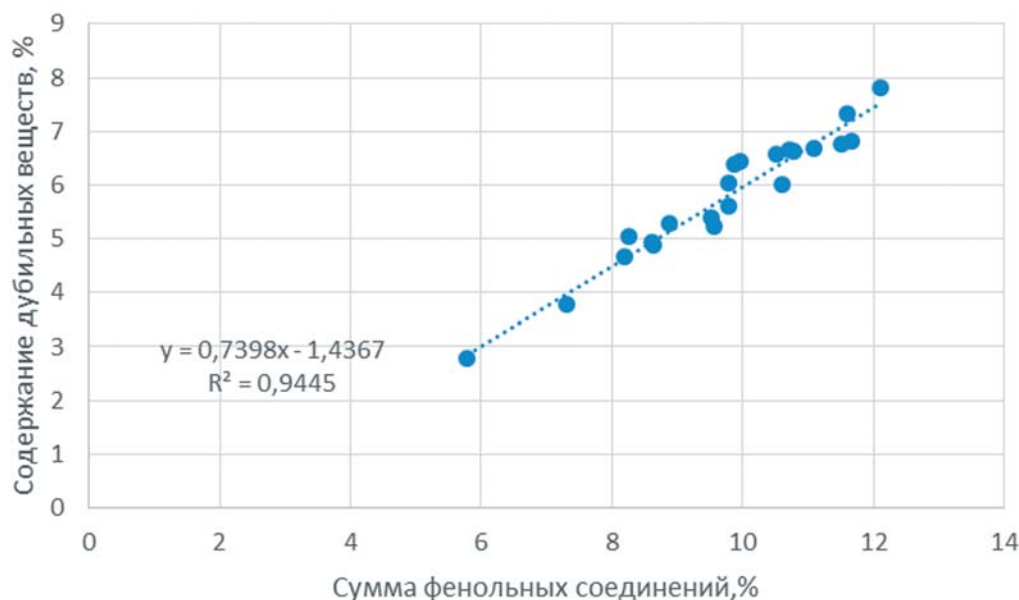
Однако при расчёте коэффициента корреляции между содержанием суммы фенолов и суммы дубиль-

ных веществ выявлена тесная корреляция ($R=0,972$) (рис. 6).

В соответствии с общепринятыми представлениями, содержащиеся в кипрее узколистном дубильные вещества представлены эллаготанинами, которые относятся к гидролизуемым и образуются по шикиматному пути [23, 24].

В то же время флавоноиды, образующиеся по смешанному пути, по своему содержанию колебались не так существенно, как сумма фенольных соединений и дубильные вещества.

Анализируя полученные результаты можно предположить, что для кипрея узколистного более характерен шикиматный путь синтеза фенольных соединений и соответственно у него большая вариабельность содержания его продуктов в зависимости от различных фак-



$t_{расч}=5,231$; $t_{табл}=2,069$; корреляция достоверна на 0,05% уровне значимости

Рис. 6. Взаимосвязь между содержанием суммы фенольных соединений и дубильных веществ в листьях кипрея узколистного

Fig. 6. Relationship between the content of phenols and tannins in leaves of *Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop.

торов – начиная от наследственных и заканчивая абиотическими и биотическими условиями мест произрастания. В то же время биосинтез по смешанному пути характеризуется большей стабильностью и более узким диапазоном вариации, что определяет низкий коэффициент корреляции.

Закключение

В результате анализа на содержание суммы фенольных соединений образцов сырья кипрея узколистного, произраставшего в разных почвенных и экологических условиях, выявлено, что в

большинстве образцов содержание этой группы соединений колебалось от 9 до 11%, содержание флавоноидов в листьях укладывалось в диапазон значений 2,5-3,5%, а содержание дубильных веществ – 5,0-6,5%.

Обнаружена тесная корреляция между содержанием суммы фенольных соединений и дубильными веществами между ($R=0,972$), что косвенно указывает на большую вариабельность интенсивности биосинтеза вторичных метаболитов по шикиматному пути в растении кипрея узколистного и ведущей роли локальных условий мест произрастания.

Литература

1. Malankina E., Antonenko M. Das Schmalblättrige Weidenröschen (*Epilobium angustifolium* L.) Vergangenheit, Gegenwart und Perspektive. *Zeitschrift für Arznei- und Gewürzpflanzen*. 2019;(3):115-117. <https://elibrary.ru/blpump>
2. Сергиенко В.Г., Соколова О.И. Динамика живого напочвенного покрова и естественное лесовозобновление на вырубках. *Известия высших учебных заведений. Лесной журнал*. 2012;2(326):35-41. <https://elibrary.ru/owzywr>
3. Горбунова Е.В., Горбунов Р. В. Перспективное направление переработки кипрея узколистного, как источника биологически активных веществ. *Известия сельскохозяйственной науки Тавриды*. 2016;5(168):85-90. <https://elibrary.ru/ykqqdp>
4. Царёв В.Н., Базарнова Н.Г., Дубенский М.М. Кипрей узколистный (*Chamaenerion angustifolium* L.) химический состав, биологическая активность. *Химия растительного сырья*. 2016;(4):15-26. <https://elibrary.ru/xelwzj>
5. Adamczak A., Dreger M., Seidler-Łożykowska K., Wielgus K. Fireweed (*Chamaenerion angustifolium* L.): botany, phytochemistry and traditional uses. A review. *Herba Polonica*. 2019;(3):51-63. <http://doi.org/10.2478/hepo-2019-0018>
6. Slobodianiuk L., Budniak L., Feshchenko H., Sverstiuk A., Palaniza Y. Quantitative analysis of fatty acids and monosaccharides composition in *Chamaenerion angustifolium* L. by GC/MS method. *Pharmacia*. 2022;69(1):167–174. <https://doi.org/10.3897/pharmacia.69.e76687>
7. Deng L.Q., Zhou S.Y., Mao J.X., Liu S., Lan X.Z., Liao Z.H., Chen M. HPLC-ESI-MS/MS analysis of phenolics and in vitro antioxidant activity of *Epilobium angustifolium* L. *Natural Product Research*. 2018;32(12):1432–1435. <https://doi.org/10.1080/14786419.2017.1344659>
8. Schepetkin I.A., Ramstead A.G., Kirpotina L.N., Voyich J.M., Jutila M.A., Quinn M.T. Therapeutic potential of polyphenols from *Epilobium angustifolium* (fireweed). *Phytotherapy Research*. 2016;30(8):1287-1297. <https://doi.org/10.1002/ptr.5648>
9. Hevesi T.B., Blazics B., Kery A. Polyphenol composition and antioxidant capacity of *Epilobium* species. *Journal of Pharmaceutical and biomedical analysis*. 2009;49(1):26-31. <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2008.09.047>
10. Kaškonienė V., Maruška A., Akuņeca I., Stankevičius M., Ragažinskienė O., Bartkuvienė V., Kornysova O., Briedis V., Ugenskiene R. Screening of antioxidant activity and volatile compounds composition of *Chamaenerion angustifolium* (L.) Holub ecotypes grown in Lithuania. *Natural Product Research*. 2016;30(12):1-9. <https://doi.org/10.1080/14786419.2015.1058792>
11. Антоненко М.С., Маланкина Е.Л. Перспективы использования листьев и соцветий кипрея узколистного (*Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop.) в качестве лекарственного растительного сырья (обзор). *Овощи России*. 2022;(1):72-78. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2022-1-72-78>
12. Невская Е.В., Зуева А.Г., Беляев А.Г. Использование экстракта и порошка кипрея узколистного в рецептуре хлебобулочных изделий. *Техника и технология пищевых производств*. 2020;50(1):61–69. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-1-61-69>
13. Ivanauskas L., Uminska K., Gudžinskas Z., Heinrich M., Georgiyants V., Kozurak A., Mykhailenko O. Phenological Variations in the Content of Polyphenols and Triterpenoids in *Epilobium angustifolium* Herb Originating from Ukraine. *Plants*. 2024;(13):120. <https://doi.org/10.3390/plants13010120>
14. Руководство по методам контроля качества и безопасности биологически активных добавок к пище Р 4.1.167203. М., 2004.

15. Методы анализа минорных биологически активных веществ пищи. Под ред. В.А. Тутельяна и К.И. Эллера. М.: Династия, 2010. 60 с. <https://elibrary.ru/qnigub>
16. Raskin I. Role of salicylic acid in plants. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*. 1992;43(1):439-463. <https://doi.org/10.1146/annurev.pp.43.060192.002255>
17. Winkel-Shirley B. Biosynthesis of flavonoids and effects of stress. *Current opinion in Plant Biology*. 2002;5(3):218-223. [https://doi.org/10.1016/s1369-5266\(02\)00256-x](https://doi.org/10.1016/s1369-5266(02)00256-x)
18. Gershenzon J. Plant Defenses: Surface Protectants and Secondary Metabolites. *Plant Physiology*, 3rd ed., Eds. L.Taiz and E. Zeiger. Massachusetts: Sinauer Associates, Sunderland, 2003. P. 347-376.
19. Антоненко М.С., Зуйкова Е.Ю., Дул В.Н., Маланкина Е.Л. Особенности накопления флавоноидов в сырье кипрея узколистного (*Epilobium angustifolium* L.) в зависимости от происхождения и морфологической группы сырья. *Овощи России*. 2023;(1):38-43. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-1-38-43> <https://elibrary.ru/urkpvx>
20. Knaggs A.R. The biosynthesis of shikimate metabolites. *Natural product reports*. 2003;20(1):119-136. <https://doi.org/10.1039/b100399m>
21. Metzler D.E. Biochemistry. The Chemical reactions of living cells.V.2. Elsevier Science, 2003. P. 1420–1471. ISBN 0-12-492541-3
22. Croteau R., Kutchan T.N., Lewis N.G. Natural products (Secondary metabolites). // *Biochemistry and Molecular Biology of Plants*, American society of plant physiologists. 2000. P.1250-1318.
23. Хворост О.П., Малый В.В., Сербин А.Г., Яковлева Л.В. Эллаговая кислота, распространенность в растительном мире и аспекты биологического действия. *Провизор*. 1998;(22):42-43.
24. Feldman K.S., Iyer M.R., Liu Y. Ellagitannin chemistry. Studies on the stability and reactivity of 2,4-HHDP-containing glucopyranose systems. *The Journal of organic chemistry*. 2003;68(19):7433–7438. <https://doi.org/10.1021/jo034495x>
8. Schepetkin I.A., Ramstead A.G., Kirpotina L.N., Voyich J.M., Jutila M.A., Quinn M.T. Therapeutic potential of polyphenols from *Epilobium angustifolium* (fireweed). *Phytotherapy Research*. 2016;30(8):1287-1297. <https://doi.org/10.1002/ptr.5648>
9. Hevesi T.B., Blazics B., Kery A. Polyphenol composition and antioxidant capacity of *Epilobium* species. *Journal of Pharmaceutical and biomedical analysis*. 2009;49(1):26-31. <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2008.09.047>
10. Kaškonienė V., Maruška A., Akučeca I., Stankevičius M., Ragažinskienė O., Bartkuvienė V., Komysova O., Briedis V., Ugenskiene R. Screening of antioxidant activity and volatile compounds composition of *Chamerion angustifolium* (L.) Holub ecotypes grown in Lithuania. *Natural Product Research*. 2016;30(12):1-9. <https://doi.org/10.1080/14786419.2015.1058792>
11. Antonenko M.S., Malankina E.L. Prospects for the use of leaves and inflorescences of fireweed (*Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop.) as a medicinal plant material (review). *Vegetable crops of Russia*. 2022;(1):72-78. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2022-1-72-78> <https://elibrary.ru/dccxtg>
12. Nevskaya E., Zueva A., Belyaev A. Extract and powder of *epilobium angustifolium* in bakery products. *Food processing: techniques and technology*. 2020;50(1):61–69. (In Russ.) <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-1-61-69> <https://elibrary.ru/icdque>
13. Ivanauskas L., Uminskas K., Gudžinskas Z., Heinrich M., Georgiyants V., Kozurak A., Mykhailenko O. Phenological Variations in the Content of Polyphenols and Triterpenoids in *Epilobium angustifolium* Herb Originating from Ukraine. *Plants*. 2024;(13):120. <https://doi.org/10.3390/plants13010120>
14. Instructions of quality control and safety of dietary supplement. R 4.1.167203. M., 2004. (In Russ.)
15. Minor dietary supplement analysis methods. Edited by V.A. Tutel'yan, K.I. Ehler. M.: Dinastiya, 2010. 60 p. (In Russ.) <https://elibrary.ru/qnigub>
16. Raskin I. Role of salicylic acid in plants. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*. 1992;43(1):439-463. <https://doi.org/10.1146/annurev.pp.43.060192.002255>
17. Winkel-Shirley B. Biosynthesis of flavonoids and effects of stress. *Current opinion in Plant Biology*. 2002;5(3):218-223. [https://doi.org/10.1016/s1369-5266\(02\)00256-x](https://doi.org/10.1016/s1369-5266(02)00256-x)
18. Gershenzon J. Plant Defenses: Surface Protectants and Secondary Metabolites. *Plant Physiology*, 3rd ed., Eds. L.Taiz and E. Zeiger. Massachusetts: Sinauer Associates, Sunderland, 2003. P. 347-376.
19. Antonenko M.S., Zuykova E.Yu., Dul V.N., Malankina E.L. Accumulation of flavonoids in the *Epilobium angustifolium* L. raw material depending on the places of collection and part of the plant. *Vegetable crops of Russia*. 2023;(1):38-43. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-1-38-43> <https://elibrary.ru/urkpvx>
20. Knaggs A.R. The biosynthesis of shikimate metabolites. *Natural product reports*. 2003;20(1):119-136. <https://doi.org/10.1039/b100399m>
21. Metzler D.E. Biochemistry. The Chemical reactions of living cells.V.2. Elsevier Science, 2003. P. 1420–1471. ISBN 0-12-492541-3
22. Croteau R., Kutchan T.N., Lewis N.G. Natural products (Secondary metabolites). // *Biochemistry and Molecular Biology of Plants*, American society of plant physiologists. 2000. P.1250-1318.
23. Khvorost O.P., Maliy V.V., Serbin A.G., Yakovleva L.V. Ellagic acid, prevalence by plant species and aspects of biological action. *Pharmacist*. 1998;(22):42-43. (In Russ.)
24. Feldman K.S., Iyer M.R., Liu Y. Ellagitannin chemistry. Studies on the stability and reactivity of 2,4-HHDP-containing glucopyranose systems. *The Journal of organic chemistry*. 2003;68(19):7433–7438. <https://doi.org/10.1021/jo034495x>

• References

1. Malankina E., Antonenko M. Das Schmalblättrige Weidenröschen (*Epilobium angustifolium* L.) Vergangenheit, Gegenwart und Perspektive. *Zeitschrift für Arznei- und Gewürzpflanzen*. 2019;(3):115-117. <https://elibrary.ru/blpump>
2. Sergiyenko V.G., Sokolova O.I. Dynamics of ground vegetation cover and natural reforestation in the cut-over areas. *Russian forestry journal*. 2012;2(326):35-41. <https://elibrary.ru/owzywr> (In Russ.)
3. Gorbunova E.V., Gorbunov R.V. Perspective direction of processing of the *Chamerion angustifolium* (L.) of Holub, as source of biologically active agents. *Transactions of Taurida agricultural science*. 2016;5(168):85-90. (In Russ.) <https://elibrary.ru/ykqqdp>
4. Tsarev V.N., Bazarnova N. G., Dubenskii M. M. *Chamerion angustifolium* L. Chemical composition, biological activity (reviews). *Khimija rastitel'nogo syr'ya*. 2016;(4):15-26. (In Russ.) <https://elibrary.ru/xelwzj>
5. Adamczak A., Dreger M., Seidler-Łożykowska K., Wielgus K. Fireweed (*Chamaenerion angustifolium* L.): botany, phytochemistry and traditional uses. A review. *Herba Polonica*. 2019;(3):51-63. <http://doi.org/10.2478/hepo-2019-0018>
6. Slobodianiuk L., Budniak L., Feshchenko H., Sverstiuk A., Palaniza Y. Quantitative analysis of fatty acids and monosaccharides composition in *Chamerion angustifolium* (L.) by GC/MS method. *Pharmacia*. 2022;69(1):167–174. <https://doi.org/10.3897/pharmacia.69.e76687>
7. Deng L.Q., Zhou S.Y., Mao J.X., Liu S., Lan X.Z., Liao Z.H., Chen M. HPLC-ESI-MS/MS analysis of phenolics and *in vitro* antioxidant activity of *Epilobium angustifolium* L. *Natural Product Research*. 2018;32(12):1432–1435. <https://doi.org/10.1080/14786419.2017.1344659>

Об авторах:

Михаил Сергеевич Антоненко – научный сотрудник отдела растительных ресурсов ФГБНУ ВИЛАР, <https://orcid.org/0000-0001-6088-7908>, SPIN-код: 2693-0268, автор для переписки, misha_antonenko@mail.ru

Валерия Сергеевна Меснянкина – магистр по направлению Садоводство, РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева

Елена Львовна Маланкина – доктор с.-х. наук, профессор, гл. научный сотрудник лаборатории Ботанический сад ФГБНУ ВИЛАР, <https://orcid.org/0000-0003-0646-6904> SPIN-код: 5366-8557, gandurina@mail.ru

About the Authors:

Michail S. Antonenko – Researcher, <https://orcid.org/0000-0001-6088-7908>, SPIN-code: 2693-0268, Correspondence Author, misha_antonenko@mail.ru

Valeria S. Mesnjankina – Master's Degree in Horticulture

Elena L. Malankina – Dr. Sci. (Agriculture), Prof., <https://orcid.org/0000-0003-0646-6904>, SPIN-code: 5366-8557, gandurina@mail.ru