

К. С. Кардашевская¹, Н. К. Чирикова²

Изменение количественного содержания фенольных соединений в листьях *Chamaedaphne calyculata* (L.) Moench в Центральной Якутии

¹Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

²Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, г. Якутск, Россия

E-mail: kris.kardashevs@gmail.com; e-mail: hofnung@mail.ru

Аннотация. Фенольные соединения хорошо известны как антиоксидантные вещества и уже давно вызывают интерес научного сообщества из-за их положительного влияния на здоровье человека, а также в качестве средств для профилактики и лечения многих заболеваний. Изучение накопления фенольных соединений в *Chamaedaphne calyculata* (L.) Moench является весьма актуальным за счет их сильных антиокислительных свойств. Основное действие антиоксидантных соединений заключается в задержке окисления других молекул и ингибировании распространения окислительных цепных реакций свободными радикалами с целью защиты организма человека и уменьшения окислительных повреждений, которые могут вызвать развитие многих хронических болезней, таких как диабет, рак и сердечно-сосудистые заболевания. В связи с этим исследование данных биологически активных соединений в изучаемом растении весьма перспективно ввиду большого количества антиоксидантных веществ и последующего внедрения *Chamaedaphne calyculata* (L.) Moench в медицинскую практику. Новизна работы заключается в том, что *Chamaedaphne calyculata* (L.) Moench, произрастающее в Якутии, мало изучено, научные работы по химическому составу отсутствуют. Цель настоящего исследования заключается в изучении изменения накопления фенольных соединений в листьях *Chamaedaphne calyculata*. Для достижения поставленной цели необходимо собрать образцы, изучить количественный состав фенольных соединений и определить, в какие месяцы года наблюдается наиболее высокий уровень исследуемых компонентов. Сбор образцов производился в Центральной Якутии, в долине Туймаада на 2-й надпойменной террасе, в 14 км к северо-западу от города Якутска, на берегу озера Хомустах на протяжении полугода – с июня по ноябрь. Для изучения количественного состава фенольных соединений использовались следующие методики: методика количественного определения фенольных соединений по Фолина-Чокальтеу, методика количественного анализа флавоноидов в комплексе с хлоридом алюминия, методика количественного анализа суммы фенилпропаноидов, методика определения дубильных веществ. В течение 6 месяцев наблюдалось постепенное повышение уровня фенольных соединений. Исследование показало, что самое высокое содержание флавоноидов, фенолов и фенилпропаноидов установлено в ноябре, когда температура опускалась до -35° по Цельсию. Таким образом, листья *Chamaedaphne calyculata* содержат большое количество фенольных соединений. Все выявленные соединения в *Chamaedaphne calyculata* дают ей преимущество в выживании в суровых климатических условиях. **Ключевые слова:** *Chamaedaphne calyculata*, Центральная Якутия, криолитозона, биологически

активные вещества, фенольные соединения, флавоноиды, фенилпропаноиды, дубильные вещества, количественный анализ, ЛРС.

Результаты были получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России (FSRG-2020-0019).

Для цитирования: Кардашевская К. С., Чирикова Н. К. Изменение количественного содержания фенольных соединений в листьях *Chamaedaphne calyculata* (L.) Moench в Центральной Якутии // Вестник СВФУ. 2022, №3(89). С. 5–13. <https://doi.org/10.25587/SVFU.2022.30.98.001>

K. S. Kardashevskaya¹, N. K. Chirikova²

Quantitative changes in the content of phenolic compounds in leaves of *Chamaedaphne calyculata* (L.) Moench in Central Yakutia

¹Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

²M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russia

E-mail: kris.kardashevs@gmail.com; e-mail: hofnung@mail.ru

Abstract. Phenolic compounds are well known as antioxidant compounds and they have been causing great interest for a long time because of their positive effects on human health, for the prevention and treatment of many diseases. The study of the accumulation of phenolic compounds in *Chamaedaphne calyculata* (L.) Moench is very relevant, due to its strong antioxidant properties. The main effect of antioxidant compounds is to delay oxidation of other molecules and inhibit the spread of oxidative chain reactions by free radicals, protecting the human body and reducing oxidative damage that can cause many chronic diseases such as diabetes, cancer and cardiovascular disease. Therefore, the study of these biologically active compounds is very promising due to their strong antioxidant properties and subsequent introduction of *Chamaedaphne calyculata* (L.) Moench into the Russian medicine. The novelty of the work lies in the fact that *Chamaedaphne calyculata* (L.) Moench growing in Yakutia is little studied and there are no scientific papers on its chemical composition. The aim of the presented study is to investigate changes in accumulation of phenolic compounds in leaves of *Chamaedaphne calyculata*. To achieve this goal, it is necessary to collect samples, study the quantitative composition of phenolic compounds and determine which months of the year have the highest levels of the studied components. Samples were collected in Central Yakutia, in the valley of Tuymaada on the 2nd above the floodplain terrace, 14 km northwest of Yakutsk, on the shore of Lake Khomustaakh for half a year - from June to November. To study the quantitative composition of phenolic compounds, we used methods such as the Folin-Chocalteu method of quantitative determination of phenolic compounds, the method of quantitative analysis of flavonoids using aluminum chloride, the method of quantitative analysis of the sum of phenylpropanoids, the method of determination of tannins, and the method of quantitative determination of flavonoids using the specific coefficient of redemption of the dominant flavonoid. A gradual increase in the level of secondary metabolites was observed over the course of 6 months. Ultimately, the study showed that the highest content of flavonoids, phenols and phenylpropanoids was found in November, where temperatures dropped to -35° Celsius. Thus, leaves contain a large number of phenolic compounds: hydroxycinnamic acids, arbutin, proanthocyanides, catechins, myricetin, quercetin, gossipetin, 2,5-dihydroxybenzoic acid. All identified compounds in *Chamaedaphne calyculata* give it an advantage in surviving in harsh climatic conditions.

Keywords: *Chamaedaphne calyculata*, Central Yakutia, cryolithozone, biologically active compounds, phenolic compounds, flavonoids, phenylpropanoids, tannins, quantitative analysis, medicinal product.

Funding information. The results were obtained as part of the state task of the Ministry of Education and Science of Russia (FSRG-2020-0019).

For citation: Kardashevskaya K. S., Chirikova N. K. Quantitative changes in the content of phenolic compounds in leaves of *Chamaedaphne calyculata* (L.) Moench in Central Yakutia // Vestnik of NEFU. 2022, No. 3(89). Pp. 5–13. <https://doi.org/10.25587/SVFU.2022.30.98.001>

Введение

Кассандра прицветничковая, или хамедафне болотная (*Chamaedaphne calyculata* (L.) Moench) – вечнозеленый карликовый кустарник семейства *Ericaceae*, произрастающий в бореальной и субарктической зоне Европы, Азии и Северной Америки. *Ch. calyculata* встречается в сильно увлажненных сообществах заболоченных хвойных лесов и болот с кислыми почвами (рН ниже 5) [1]. Высота растений часто не превышает 10–25 см, это в основном зависит от интенсивности нарастания сфагнового покрова. Цветки белые, одиночные, длиной до 4 мм, на коротких цветоножках свисают из пазух листьев, образуя одностороннее кистевидное соцветие (рис. 1).

Период цветения длится с мая по июнь. Семена кассандры мелкие (до 1 мм длиной, весом около 0,12 мг), гладкие и светло-коричневые. Семена имеют пробкообразное крыло, которое позволяет им плавать на воде, а также облегчает рассеивание ветром [2].

Кассандра – ядовитое растение. Гликозид андромедотоксин, содержащийся в листьях и молодых побегах, вызывает отравление у травоядных животных [3]. Андромедотоксин (ацетиландромедол, родотоксин) – полигидроксилированный циклический дитерпен, относится к нейротоксинам; его токсичность обусловлена тем, что он нарушает работу клеточных рецепторов, сначала он возбуждает центральную нервную систему, а затем её угнетает, что может привести к летальному исходу [4].

И. Ю. Усманов с соавторами провел сравнение спектров высокоэффективной жидкостной хроматографии метаболомов из спиртового извлечения листьев *Ch. calyculata* олиготрофных болот Средней Оби. Исследованные ценопопуляции *Ch. calyculata* различались по числу пиков в хроматограммах – от 21 до 41. Полученные результаты свидетельствуют о разнообразном составе фенольных соединений данного вида. Состав и количественное содержание фенольных соединений в растениях может варьировать в зависимости от экологических условий региона [5].



Рис. 1. *Chamaedaphne calyculata* (L.) Moench

Целью исследования является изучение накопления фенольных соединений в *Chamaedaphne calyculata*, произрастающем в Центральной Якутии.

Впервые изучается количественный состав флавоноидов, фенолов, фенилпропаноидов и дубильных веществ *Ch. calyculata*, произрастающем в Центральной Якутии. Публикации по биохимическому составу этого вида немногочисленны.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования является кассандра прицветничковая (*Chamaedaphne calyculata*). Сбор образцов проводился в Центральной Якутии, в долине Туймаада на 2-й надпойменной террасе, в 14 км к северо-западу от города Якутска, на берегу озера Хомустах. Сбор образцов проводился в течение 6 месяцев (с июня по ноябрь) согласно требованиям Государственной фармакопеи РФ XIII. Спектрофотометрические исследования проводили на спектрофотометре СФ-2000 (ОКБ Спектр, Санкт-Петербург). Для количественного определения дубильных веществ сухие листья экстрагируют дистиллированной водой с обратным холодильником на водяной бане в течение 30 мин. Затем жидкость охлаждается до комнатной температуры и фильтруется. Полученное извлечение смешивают с водой и раствором индигосульфокислоты и титруют при постоянном перемешивании раствором перманганата калия до золотисто-желтого окрашивания [6].

Согласно методикам количественного определения фенольных соединений по Фолина-Чокальтеу [7], количественного анализа флавоноидов с применением хлорида алюминия [7], количественного анализа фенилпропаноидов [8], сухие листья экстрагировались 70%-м этанолом с обратным холодильником на водяной бане в течение 30 мин. При количественном определении флавоноидов с применением хлорида алюминия экстракция производилась в двух повторностях. Объем объединенного фильтрата доводили до метки 70% этиловым спиртом (раствор А). 1 мл раствора А переносили в мерную колбу вместимостью 25 мл и доводили раствор до метки 70% спиртов этиловым (раствор Б). Определяли оптическую плотность раствора Б при длине волны 412 нм [7]. Для количественного определения фенольных соединений по Фолина-Чокальтеу полученный экстракт осаживали при 12 000 г в течение 10 мин, супернатант сливали в пробирку-эппендорф, к осадку добавляли этанол, взбалтывали и еще раз центрифугировали при тех же условиях. Супернатанты объединяли, конечный объем доводили до 2 мл. Измерение оптической плотности проводилось на спектрофотометре при длине волны 765 нм. При количественном анализе фенилпропаноидов отбрасывали первые 10 мл фильтрата (раствор А). Затем в мерную колбу помещали 0,5 мл полученного фильтрата и доводили объем экстрагентом до метки (раствор Б). Оптическую плотность раствора Б измеряли на спектрофотометре при длине волны 330 нм.

Статистическую обработку результатов исследований проводили согласно ОФС.1.1.0013.15 «Статистическая обработка результатов эксперимента» ГФ XIII с использованием ПО «Microsoft Excel», статистического пакета «Statistica 7.0» [7].

Результаты и обсуждение

На рис. 2 отображена сравнительная диаграмма содержания основных фенольных соединений между видами семейств Грушанковые (Pyrolaceae) и Вересковые (Ericaceae) – *Pyrola incarnata*. Как видно, *Ch. calyculata* превосходит в содержании фенилпропаноидов *P. incarnata* на 76%, фенольных соединений на 18% и флавоноидов на 1,5% соответственно.

Как представитель семейства *Ericaceae* *Ch. calyculata* содержит следующие фенольные соединения: гидроксикоричные кислоты, арбутин, проантоцианиды, катехины, мирицетин, кверцетин, госсипетин (3,5,7,8,3,4–гексаоксифлаван), 2,5-дигидроксибензойную кислоту [9, 10].

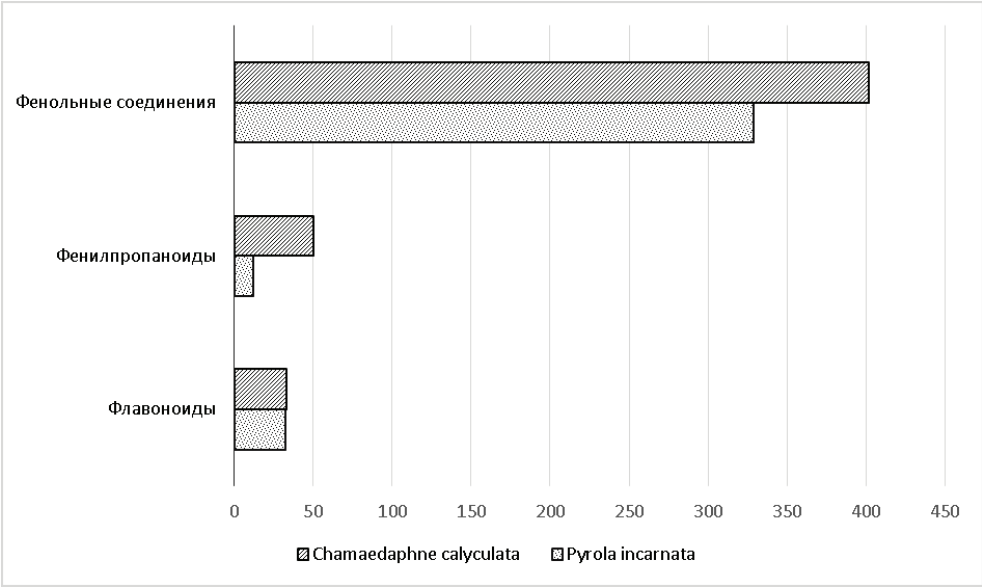


Рис. 2. Количественное содержание фенольных соединений в листьях *Pyrola incarnata* и *Chamaedaphne calyculata*, в мг/г

Fig. 2. Quantitative content of phenolic compounds in leaves of *Pyrola incarnata* and *Chamaedaphne calyculata*, in mg/g

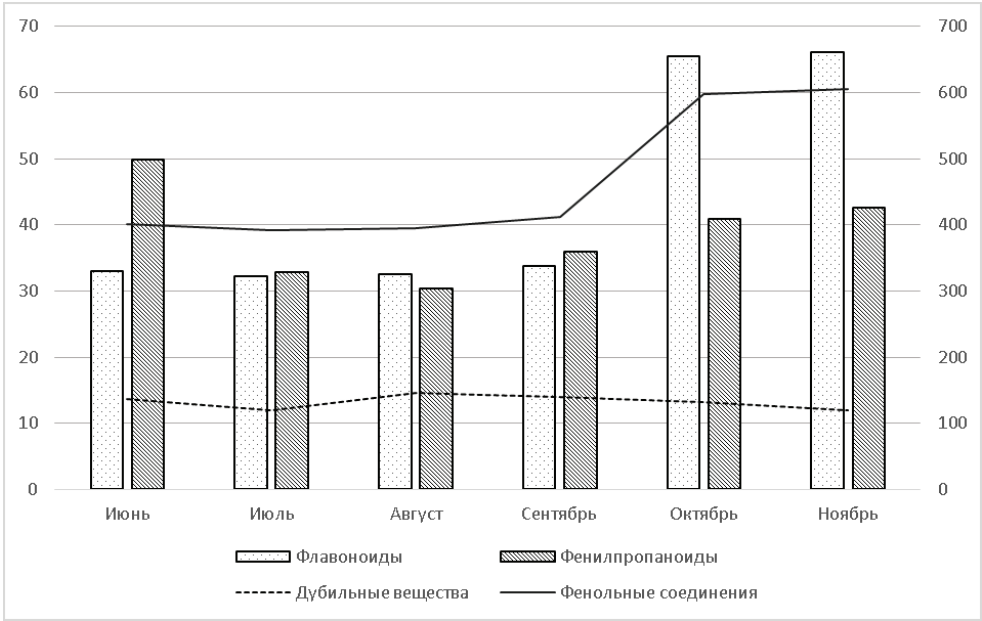


Рис. 3. Количественное содержание фенольных соединений в листьях *Chamaedaphne calyculata*, в мг/г. Слева находится вспомогательная ось для данных флавоноидов и фенилпропаноидов, справа – для дубильных веществ и фенольных соединений

Fig. 3. Quantitative content of phenolic compounds in leaves of *Chamaedaphne calyculata*, in mg/g. On the left – additional axis for the data on flavonoids and phenylpropanoids; on the right – data for tannins and phenolic compounds

Ch. calyculata, растущая в болотном массиве Ельня (Республика Беларусь), с июня по август накапливает в среднем 292,15 мг/г фенольных соединений, в то же время центральная якутская популяция *Ch. calyculata* за такой же промежуток времени накапливает 395,75 мг/г. Это можно объяснить тем, что фенольные соединения играют ключевую роль в защите растения при различных стрессах, например, таких как низкие температуры (в центральной Якутии среднемесячная температура атмосферного воздуха в 2021 году начиная с октября понижается до минусовых значений), высокий уровень освещенности (исследованная *Ch. calyculata* росла на открытом, хорошо освещенном сфагновом болоте), нехватка питательных веществ (*Ch. calyculata* произрастает в местности с многолетней мерзлотой, из-за чего в почве содержится небольшое количество питательных веществ) [11, 12]. Также в исследовании И. Ю. Усманова с соавторами упоминается, что количественное содержание фенольных соединений в растениях может варьировать в зависимости от экологических условий региона [5].

Перечисленные факторы могут привести к увеличению выработки свободных радикалов и других окислительных процессов, пагубно влияющих на растение. Как известно, Якутск расположен на многолетней мерзлоте, которая влияет на рост и развитие растений. Мерзлота способствует заболачиванию почв, что ведет к снижению насыщения почвы атмосферным воздухом, из-за которого обедняется деятельность микроорганизмов, выделяющих в нее питательные вещества [11, 12]. Вследствие влияния вышеперечисленных процессов неудивительно, что якутские популяции *Ch. calyculata* синтезируют большее количество фенольных соединений.

Положительная тенденция увеличения содержания фенольных соединений наблюдается с сентября. Их концентрация в тканях растений зависит от сезона, а также может меняться на разных стадиях роста и развития [13, 14]. В октябре, с понижением среднесуточных температур до отрицательных значений, отмечен значительный скачок в содержании исследуемых веществ. В этот период повышается синтез флавоноидов, фенолов и фенилпропаноидов. Усиление абиотических стрессов, таких как засоление, низкая температура и недостаток питательных веществ, связано с окислительным стрессом и выработкой активных форм кислорода [15, 16]. В неферментативных антиоксидантных механизмах фенолы играют важную роль, уравнивая действие активных форм кислорода [17]. В ноябре их уровень достигает $605,81 \pm 0,06$ мг/г.

В среднем белорусская кассандра накапливает около $23,57 \pm 0,13$ мг/г, а местная *Ch. calyculata* $32,54 \pm 0,03$ мг/г флавоноидов [18]. Их роль немаловажна в жизненном цикле растения – они ответственны за проявление осенней окраски у многих видов. Флавоноиды и каротиноиды листьев способствуют защите хлоропластов от фотоокислительного повреждения, т. к. они могут препятствовать извлечению неорганических питательных веществ из увядающих осенних листьев [19, 20].

Количественное содержание фенилпропаноидов поддерживается на определенном уровне, так как они являются исходными молекулами для синтеза лигнина и суберина, которые укрепляют клеточные стенки [17]. В холодное время года растениям необходимо укреплять клеточные стенки, т. к. устойчивость растений к заморозкам напрямую зависит от способности подавлять и защищать клетку от кристаллов льда [21]. Лигнин и суберин препятствуют чрезмерному обезвоживанию и разрушению жизненно важных клеточных структур, поэтому растение успешно перезимовывает.

Дубильные вещества – это вяжущие, полифенольные соединения, которые связываются с белками и различными другими органическими соединениями и выпадают в осадок. Дубильные вещества встречаются в различных тканях растений, где они играют важную роль в защите растений от травоядных и регуляции роста растений [22]. Они преимущественно сосредотачиваются в листьях, в коре древесины, в пленке семян – в тех частях растения, которые отвечают за защитную функцию [23]. В динамике накопления дубильных веществ можно отметить следующие особенности.

Содержание веществ изменялось с 11,9% до 14,6%. Наименьшее содержание в листьях *Ch. calyculata* установлено в июле и ноябре, где их количество составляет 11,9%. В июне наблюдается высокий процент содержания дубильных веществ – 13,6%, этот месяц совпадает с фазой цветения у *Ch. calyculata*. Максимальное значение приходится на август – 14,6%, оно совпадает с периодом плодоношения растения. С сентября по ноябрь содержание дубильных веществ спадает, пока не достигает своего минимального значения – 11,9%.

Заключение

1. На протяжении шести месяцев наблюдалось постепенное увеличение количественного содержания фенольных соединений (суммарное содержание фенольных соединений, флавоноидов, фенилпропаноидов и дубильных веществ) в листьях *Chamaedaphne calyculata*. Самое высокое содержание флавоноидов, фенолов и фенилпропаноидов установлено в ноябре, когда температура снижалась до -35° по Цельсию.
2. Последовательное накопление исследованных соединений может быть объяснено окислительным стрессом, вызванным различными факторами: недостатком питательных веществ, наличием многолетней мерзлоты, высокой/низкой температурой, ростом и развитием самого растения.
3. Значительный уровень фенольных соединений обеспечивает *Chamaedaphne calyculata* эффективную защиту во время долгой зимы. Все выявленные соединения в *Chamaedaphne calyculata* дают ей преимущество в выживании в суровых климатических условиях.

Л и т е р а т у р а

1. Kruszelnicki, J. *Chamaedaphne calyculata* (L.) Moench – chamedafne północna / J. Kruszelnicki // Polska Czerwona Księga Roślin. – 2001. – P. 283–285.
2. Szkudlarz, P. Morphological and anatomical structure of seeds in the family Ericaceae / P. Szkudlarz // Biol Bull Poznan. – 2001. – № 38. – P. 113–132.
3. Иллюстрированный определитель растений средней России / И. А. Губанов, К. В. Киселева, В. С. Новиков, В. Н. Тихомиров // Москва : Товарищество научных изданий КМК, Ин-т технологических исследований. – 2003. – № 2. – С. 666.
4. Токсикология ядовитых растений / И. А. Гусынин // Москва : Сельхозиздат. – 1962. – № 4. – С. 624.
5. Комплексы флавоноидов *Chamaedaphne calyculata* (L.) Moench олиготрофных болот средней оби / И. Ю. Усманов, Э. Р. Юмагулова, В. В. Александрова [и др.] // Вестник Нижневартковского государственного университета. – 2019. – № 2.
6. Государственная фармакопея Российской Федерации // Москва : МЗ РФ. – 2015. – № 8 – С. 1470.
7. Singleton, V. L. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent / V. L. Singleton, R. Orthofer, R. M. Lamuela-Raventós // Methods in enzymology. – 1999. – № 299. – P. 152–178.
8. Методика количественного определения суммы фенилпропаноидов в сырье стевии / Е. Е. Курдюков, О. А. Водопьянова, А. В. Митишев // Химия растительного сырья. – 2020. – № 3. – С. 115–121.
9. The first assessment on antioxidant and antidiabetic activities of leaves and stems of *Vaccinium secundiflorum* Hook. (Ericaceae), an endemic plant of Madagascar / N. Tombozara, D. Donno, Z. R. Razafindrakoto // South African Journal of Botany. – 2020. – № 130. – P. 422–429.
10. Phenolic compounds, antioxidant capacity and antimutagenic activity in different growth stages of in vitro raised plants of *Origanum vulgare* L / A. Pandey, T. Belwal, S. Tamta // Molecular biology reports. – 2019. – № 2. – P. 2231–2241.
11. Дадыкин, В. П. Особенности поведения растений на холодных почвах / В. П. Дадыкин. – АН СССР 1952. – С. 276.
12. Тыртиков, А. П. О влиянии растительности на многолетнемерзлую подзону / А. П. Тыртиков // Материалы и основы учения о мерзлых зонах земной коры. – 1959. – № 3. – С. 48.

13. Bhattacharya, A. The roles of plant phenolics in defence and communication during *Agrobacterium* and *Rhizobium* infection / A. Bhattacharya, P. Sood, V. Citovsky // *Molecular plant pathology*. – 2010. – № 5. – P. 705–719.
14. Sampaio, B. L. Effect of the environment on the secondary metabolic profile of *Tithonia diversifolia*: a model for environmental metabolomics of plants / B. L. Sampaio, R. A. Edrada-Ebel, F. B. Da Costa // *Scientific reports*. – 2016. – № 1. – P. 1–11.
15. Flavonoids are determinants of freezing tolerance and cold acclimation in *Arabidopsis thaliana* / E. Schulz, T. Tohge, E. Zuther [et al.] // *Scientific reports*. – 2016. – № 1. – P. 1–10.
16. The effects of salt and drought stress on phenolic accumulation in greenhouse-grown *Hypericum pruinatum* / O. Caliskan, J. Radusiene, K. Ersin [et al.] // *Italian Journal of Agronomy*. – 2017. – № 3. – P. 12–13.
17. Role of phenolic compounds in plant-defensive mechanisms / S. Kumar, M. Abedin, A. K. Singh, S. Das // *Plant Phenolics in Sustainable Agriculture*. – 2020. – P. 517–532.
18. Созинов, О. В. Ценопопуляции мирта болотного (*Chamaedaphne calyculata* (L.) Moench) : взаимосвязь морфологии, фитохимического состава листьев и факторов среды / О. В. Созинов, Г. Н. Бузук, Н. А. Кузьмичева // *Вестник фармации*. – 2009. – № 3. – С. 35–44.
19. Effects of nutrient addition on leaf chemistry, morphology, and photosynthetic capacity of three bog shrubs / J. L. Bubier, R. Smith, S. Juutinen [et al.] // *Oecologia*. – 2011. – № 2. – P. 355–368.
20. Feild, T. S. Why leaves turn red in autumn. The role of anthocyanins in senescing leaves of red-osier dogwood / T. S. Feild, D. W. Lee, N. M. Holbrook // *Plant physiology*. – 2001. – № 2. – P. 566–574.
21. Guo, X. Cold signaling in plants: Insights into mechanisms and regulation / X. Guo, D. Liu, K. Chong // *Journal of integrative plant biology*. – 2018. – № 9. – P. 745–756.
22. Chen, H. Molecular mechanisms of tannin accumulation in *Rhus* galls and genes involved in plant-insect interactions / H. Chen, J. Liu, K. Cui [et al.] // *Scientific reports*. – 2018. – Т. 8. – № 1. – P. 1–12.
23. Сичко, Н. О. Оценка накопления дубильных веществ в разновозрастном курильском чае кустарникового, произрастающем на Северном Кавказе / Н. О. Сичко, М. И. Стальная // *Новые технологии*. – 2019. – № 2. – С. 244–255.

References

1. Kruszelnicki, J. *Chamaedaphne calyculata* (L.) Moench – chamedafne północna // *Polska Czerwona Księga Roślin*. – 2001. – Pp. 283–285.
2. Szkudlarz, P. Morphological and anatomical structure of seeds in the family Ericaceae // *Biol Bull Poznan*. – 2001. – №38. – Pp. 113–132.
3. Illustrated Indicator of Plants of Central Russia / I. A. Gubanov, K. V. Kiseleva, V. S. Novikov, V. N. Tikhomirov // Moscow: KMK Scientific Press Ltd., Institute of Technological Research. – 2003. – № 2. – P. 666.
4. Toxicology of Poisonous Plants / I. A. Gusynin // Moscow: Selkhozizdat. – 1962. – №4. – P. 624.
5. Flavoloid Complexes of *Chamaedaphne calyculata* (L.) Moench of Oligotrophic Swamps of Central Ob River. / I. Yu. Usmanov, E. R. Yumagulova, V. V. Aleksandrova [et al.] // *Vestnik of Nizhnevartovsk State University*. – 2019. – № 2.
6. Singleton, V. L. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent / V. L. Singleton, R. Orthofer, R. M. Lamuela-Raventós // *Methods in enzymology*. – 1999. – № 299. – P. 152–178.
7. State Pharmacopoeia of the Russian Federation // Moscow : Ministry of Health of the Russian Federation. – 2015. – №8. – P. 1470.
8. Methodics of quantitative determination of content of phenylpropanoids in stevia stock / E. E. Kurdiukov, O. A. Vodop'ianova, A. V. Mitishev // *Chemistry of Plant Stock*. – 2020. – №3. – Pp. 115–121.
9. The first assessment on antioxidant and antidiabetic activities of leaves and stems of *Vaccinium secundiflorum* Hook. (Ericaceae), an endemic plant of Madagascar / N. Tombozara, D. Donno, Z. R. Razafindrakoto // *South African Journal of Botany*. – 2020. – №130. – Pp. 422–429.

10. Phenolic compounds, antioxidant capacity and antimutagenic activity in different growth stages of in vitro raised plants of *Origanum vulgare* L / A. Pandey, T. Belwal, S. Tamta //Molecular biology reports. – 2019. – №2. – Pp. 2231-2241.
11. Dadykin, V. P. Particular characteristics of plants on cold soils. AS of the USSR, 1952. – P. 276.
12. Tyrtikov, A. P. On influence of plants on permafrost sub-zone // Materials and fundamentals of the study of frozen zones of Earth's crust. – 1959. – №3. – P. 48.
13. Bhattacharya, A. The roles of plant phenolics in defence and communication during *Agrobacterium* and *Rhizobium* infection / A. Bhattacharya, P. Sood, V. Citovsky //Molecular plant pathology. – 2010. – №5. – Pp. 705-719.
14. Sampaio, B. L. Effect of the environment on the secondary metabolic profile of *Tithonia diversifolia*: a model for environmental metabolomics of plants / B. L. Sampaio, R. A. Edrada-Ebel, F. B. Da Costa //Scientific reports. – 2016. – №1. – Pp. 1-11.
15. Flavonoids are determinants of freezing tolerance and cold acclimation in *Arabidopsis thaliana* / E. Schulz, T. Tohge, E. Zuther [et al.] //Scientific reports. – 2016. – №1. – Pp. 1-10.
16. The effects of salt and drought stress on phenolic accumulation in greenhouse-grown *Hypericum pruinatum* / O. Caliskan, J. Radusiene, K. Ersin [et al.] //Italian Journal of Agronomy. – 2017. – № 3. – Pp. 12-13.
17. Role of phenolic compounds in plant-defensive mechanisms / S. Kumar, M. Abedin, A. K. Singh, S. Das // Plant Phenolics in Sustainable Agriculture. – 2020. – Pp. 517-532.
18. Sozinov, O. V. Coenopopulations of *Chamaedaphne calyculata* (L.) Moench: interconnection of morphology, phytochemical content of leaves and environmental factors / O. V. Sozinov, G. N. Buzuk, N. A. Kuz'micheva // Bulletin of Pharmaceutics. – 2009. – № 3. – Pp. 35-44.
19. Effects of nutrient addition on leaf chemistry, morphology, and photosynthetic capacity of three bog shrubs / J.L. Bubier, R. Smith, S. Juutinen [et al.] //Oecologia. – 2011. – № 2. – Pp. 355-368.
20. Feild, T. S. Why leaves turn red in autumn. The role of anthocyanins in senescing leaves of red-osier dogwood / T. S. Feild, D. W. Lee, N. M. Holbrook //Plant physiology. – 2001. – № 2. – Pp. 566-574.
21. Guo, X. Cold signaling in plants: Insights into mechanisms and regulation / X. Guo, D. Liu, K. Chong //Journal of integrative plant biology. – 2018. – № 9. – Pp. 745-756.
22. Chen, H. Molecular mechanisms of tannin accumulation in *Rhus* galls and genes involved in plant-insect interactions / H. Chen, J. Liu, K. Cui [et al.]//Scientific reports. – 2018. – T. 8. – №. 1. – Pp. 1-12.
23. Sichko, N. O. Evaluation of build-up of tannins in mixed-age *Dasiphora fruticosa*, growing in the Northern Caucasus. / N. O. Sichko, M. I. Stalnaia // New Technologies. – 2019. – №. 2. – Pp. 244-255.

КАРДАШЕВСКАЯ Кристина Степановна – студент, Биотехнологический факультет, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова.

E-mail: kris.kardashevs@gmail.com

KARDASHEVSKAYA Kristina Stepanovna – student, Faculty of Biotechnology, Lomonosov Moscow State University.

ЧИРИКОВА Надежда Константиновна – доктор фармацевтических наук, профессор биологического отделения Института естественных наук, Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова.

E-mail: hofnung@mail.ru

CHIRIKOVA Nadezhda Konstantinovna – Doctor of Pharmaceutical Sciences, Professor at the Department of Biology, Institute of Natural Sciences, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University.