

ISSN 0033-9946

Том 60, выпуск 2

Апрель - Июнь 2024



РАСТИТЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ



НАУКА

— 1727 —

Учредители:
РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ОТДЕЛЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ НАУК РАН

ЖУРНАЛ «РАСТИТЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ»

Основан в январе 1965 г.

Выходит 4 раза в год

ISSN 0033-9946

Главный редактор: *Н. И. СТАВРОВА*

Редакционная коллегия:

*Е. М. Арнаутова, Г. Н. Бузук, П. Г. Горовой, Ч. Доржсурэн, М. М. Дорофеева,
И. Г. Зенкевич, Г. Ю. Конечная, А. М. Крышень, Е. Е. Лесиовская (зам. главного редактора),
И. В. Лянгузова, Т. А. Михайлова, А. А. Наumenко (отв. секретарь), А. А. Паутов,
А. В. Пугачевский, К. В. Сивак, О. В. Созинов, А. Ташев, И. Н. Урбанавичене,
В. А. Черемушкина, И. И. Шамров, В. Т. Ярмишко (зам. главного редактора)*

Founders:

RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES
BRANCH OF BIOLOGICAL SCIENCES RAS

JOURNAL «RASTITELNYE RESURSY»

Founded in January 1965

Periodicity: 4 issues a year

Editor-in-Chief *N. I. STAVROVA*

Editorial board:

*E. M. Arnautova, G. N. Buzuk, P. G. Gorovoy, Ch. Dorjsuren, M. M. Dorofeeva,
I. G. Zenkevich, G. Yu. Konechnaya, A. M. Kryshen, E. E. Lesiovskaya (deputy editor-in-chief),
I. V. Lyanguzova, T. A. Mikhailova, A. A. Naumenko (executive secretary), A. A. Pautov,
A. V. Pugachevsky, K. V. Sivak, O. V. Sozinov, A. N. Tashev, I. N. Urbanavichene,
V. A. Cheryomushkina, I. I. Shamrov, V. T. Yarmishko (deputy editor-in-chief)*

Адрес редакции: 197376, г. Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, д. 2
E-mail: plresources@mail.ru

Москва
Издательство «Наука»

© Российская академия наук, 2024
© Институт географии РАН, 2024
© Редакция журнала «Растительные ресурсы»
(составитель), 2024

СОДЕРЖАНИЕ

Том 60, вып. 2, 2024

ОБЗОРЫ

Биологически активные соединения лекарственных растений, обладающие
противогерпетическим действием (часть 1)

Сивак К. В., Стосман К. И., Лесиовская Е. Е. 3

Изучение растительности пастбищ северного оленя: история и основные подходы
в современных исследованиях

Карсонова Д. Д. 21

Вторичные метаболиты и биологическая активность *Agastache rugosa* (Lamiaceae)

Беленовская Л. М., Науменко А. А. 42

СТАТЬИ И СООБЩЕНИЯ

Биология ресурсных видов

Влияние температуры и срока хранения на качество семян трех видов рода *Hypericum*
(Hypericaceae)

Левицкая Г. Е. 59

К биологии *Ornithogalum fischerianum* (Huacinthaceae) в Оренбургской области

Мустафина А. Н., Абрамова Л. М. 75

Компонентный состав ресурсных видов

Фенольные соединения и элементный состав растений *Rhodiola rosea* (Crassulaceae),
произрастающих на территории горного Алтая

Зибарева Л. Н., Прокопьев А. С., Рабцевич Е. С. 89

Сравнительный анализ жирнокислотного состава липидов семян различных видов *Salvia*
(Lamiaceae)

Феськова Е. В., Леонтьев В. Н., Кислякова А. А., Тычина И. Н., Гиль Т. В., Аношенко Б. Ю.,
Титок В. В. 104

Фитохимический анализ плодов *Elaeagnus angustifolia* (Elaeagnaceae), произрастающего
в Астраханской области

Цибизова А. А., Генатуллина Г. Н., Ясенявская А. Л., Самогтруева М. А. 113

Потери науки

Памяти Л. М. Беленовской (04.05.1940—09.02.2024)

Науменко А. А. 117

Для авторов 124

Contents

Vol. 60, issue 2, 2024

REVIEWS

Biologically active compounds of medicinal plants with anti-herpes effect (Part 1) <i>Sivak K. V., Stosman K. I., Lesiovskaya E. E.</i>	3
Reindeer pasture vegetation studies: history and basic approaches in modern research <i>Karsonova D. D.</i>	21
Secondary metabolites and biological activity of <i>Agastache rugosa</i> (Lamiaceae) <i>Belenovskaya L. M., Naumenko A. A.</i>	42

ARTICLES AND COMMUNICATIONS

Biology of resource species

Effect of temperature and storage duration on seed quality of three <i>Hypericum</i> (Hypericaceae) species <i>Levitskaya G. E.</i>	59
Biology of <i>Ornithogalum fischerianum</i> (Hyacinthaceae) in the Orenburg Region <i>Mustafina A. N., Abramova L. M.</i>	75

Component structure of resource species

Phenolic compounds and elemental composition of <i>Rhodiola rosea</i> (Crassulaceae) plants growing in the Altai Mountains <i>Zibareva L. N., Prokopyev A. S., Rabtsevich E. S.</i>	89
Comparative analysis of fatty acid composition of lipids in seeds of various <i>Salvia</i> (Lamiaceae) species <i>Feskova E. V., Leontiev V. N., Kisliakova A. A., Tychina I. N., Gil T. V., Anoshenko B. Yu., Titok V. V.</i>	104
Phytochemical analysis of the fruits of <i>Elaeagnus angustifolia</i> (Elaeagnaceae) from the Astrakhan Region <i>Tsibizova A. A., Genatullina G. N., Yasyavskaya A. L., Samotrueva M. A.</i>	113

Loss to the science

In memoriam Lidia Markovna Belenovskaya (May 4, 1940 — February 09, 2024) <i>Naumenko A. A.</i>	117
For the authors	124

УДК 615.322

БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ, ОБЛАДАЮЩИЕ ПРОТИВОГЕРПЕТИЧЕСКИМ ДЕЙСТВИЕМ (ЧАСТЬ 1)

© 2024 г. К. В. Сивак¹, К. И. Стосман^{1*}, Е. Е. Лесиовская²

¹ Научно-исследовательский институт гриппа им. А.А. Смородинцева
Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия

² Научно-клинический центр токсикологии имени С.Н. Голикова Федерального медико-биологического агентства,
Санкт-Петербург, Россия

*e-mail: labtox6@rambler.ru

Поступила в редакцию 20.02.2024

После доработки 27.02.2024

Принята к публикации 11.03.2024

В первой части обзора обобщены данные о противовирусной активности 24 лекарственных растений из 18 семейств в отношении вируса простого герпеса I и II типа. Показано, что активные соединения этих лекарственных растений, обладающие разными механизмами действия, способны эффективно подавлять развитие герпесвирусной инфекции.

Ключевые слова: вирус простого герпеса I или II типа, противовирусная активность, биологически активные соединения

DOI: 10.31857/S0033994624020017, **EDN:** PZKPYM

ВВЕДЕНИЕ

Герпетическая инфекция является одной из самых распространенных вирусных инфекций на нашей планете. Согласно статистике, около 98% населения планеты контактировало с вирусом простого герпеса I или II типа и имеет антитела к нему [1]. По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) герпесвирусная инфекция занимает второе место среди вирусных заболеваний человека, уступая лишь гриппу. Легкость инфицирования, пожизненная персистенция вируса в организме, развитие вторичного иммунодефицита и ряда других серьезных осложнений, делают актуальной разработку методов эффективной профилактики и лечения заболеваний, вызванных этим вирусом.

Многочисленные представители семейства вирусов герпеса человека (HHV) являются возбудителями различных заболеваний. Многие HHV-инфекции ассоциируются с вирусом простого герпеса I (HSV-1) и II типа (HSV-2). Другими представителями вирусов герпеса являются HHV-3 (вирус Varicella-Zoster), HHV-4 (вирус Эпштейна—Барр), HHV-5 (цитомегаловирус), HHV-6,

HHV-7 и HHV-8. HSV-1 и HSV-2 — инкапсулированные дсДНК-вирусы семейства Herpesviridae.

Для лечения герпетической инфекции используют иммуномодуляторы, патогенетические и симптоматические средства, а также химиопрепараты, действующие непосредственно на вирусы [2]. Противовирусные лекарственные средства, применяемые в настоящее время против герпеса, имеют синтетическое (ацикловир, зовиракс, лавомакс, валтрекс, фамвир, иммунорикс) или растительное происхождение (гипорамин, пана-вир, алпизарин, госсипол, хелепин). «Золотым стандартом» противогерпетической химиотерапии является синтетический нуклеозид — ацикловир, ациклический аналог гуанозина. Механизм действия ацикловира основан на его специфичности в отношении вирусной тимидинкиназы, которая фосфорилирует ацикловир. ДНК-полимераза вируса ошибочно включает фосфорилированный ацикловир вместо естественного дезоксигуанозинтрифосфата в концевые участки новых вирусных ДНК, что обрывает процесс репликации вируса на любой стадии, и новые генерации вирусов не образуются.

Противовирусная химиотерапия способствует клиническому улучшению у большинства пациентов. Однако химические аналоги нуклеозидов не влияют на риск, частоту или тяжесть рецидивов после прекращения лечения. Значительной проблемой является также прогрессивное увеличение количества ацикловир-устойчивых штаммов вирусов. Применяемые в современной клинической практике методы иммунотерапии не дают гарантированного клинико-лабораторного эффекта при профилактике и лечении герпесвирусных заболеваний; кроме того, они небезопасны. В связи с этим очевидна необходимость поиска безопасных высокоэффективных противовирусных средств, оказывающих иммуномодулирующее действие.

Особый интерес вызывают лекарственные растения, применяемые в терапии заболеваний, вызванных вирусами герпетической группы. Фитотерапия при этом может быть как этиологической (направленной на снижение активности вируса), так и патогенетической (способствующей формированию иммунитета, ликвидации нежелательных последствий острого воспаления, сопутствующего инфекции). Выбор средств фитотерапии для лечения герпесвирусной инфекции разнообразен. Это, прежде всего, лекарственные растения, обладающие противовоспалительным, обезболивающим и антитоксическим эффектами, а также эфирные масла и другие компоненты, обладающие антивирусным действием. Препараты растительного происхождения благодаря наличию различных биологически активных веществ мягко воздействуют на организм, восстанавливают нарушенные функции иммунного ответа и возможны к применению у пациентов всех возрастных групп. Главным их преимуществом является малая токсичность и возможность длительного применения без риска возникновения существенных побочных эффектов, использование в составе поддерживающей и курсовой терапии, а также для профилактики заболевания.

На нынешний день практическая медицина обладает достаточно внушительным арсеналом противовирусных средств, способных подавлять репродукцию вируса на любой стадии процесса. Однако, несмотря на определенные успехи, достигнутые в противовирусной химиотерапии, появление резистентности вируса к тем или иным противовирусным лекарственным средствам является серьезной проблемой. Изучение растительных препаратов, обладающих антивирусными свойствами, показало, что устойчивости вирусов

к данным препаратам, не наблюдается [3]. Большое разнообразие биологически активных соединений, находящихся в растениях, позволяет рассчитывать на возможность получения новых высокоактивных препаратов, обладающих сложным механизмом действия (противовирусным, противовоспалительным и иммуномодулирующим) и способных блокировать вирулентность вирусов.

МЕХАНИЗМЫ ДЕЙСТВИЯ

Растительные экстракты привлекают большое внимание при поиске альтернативных соединений с противогерпетической активностью. Препараты растительного происхождения по сравнению с химическими соединениями являются практически нетоксичными и обладают разными механизмами действия, позволяющими эффективно бороться с вирусной инфекцией [4–6].

Основой противовирусной терапии является воздействие на вирус или его составляющие компоненты на той или иной стадии репродукции (на стадиях: неспецифическая и специфическая адсорбция, проникновение вируса в клетку и освобождение внутреннего компонента вируса; экспрессия вирусного генома; сборка и выход вирусных частиц).

Неспецифическая стадия блокирования адсорбции вируса, в первую очередь, связана с электростатическими взаимодействиями между вирусом и клеткой, поэтому использование полисахаридов и некоторых пептидов, выделенных из растений и несущих большой отрицательный заряд, эффективно ингибирует адсорбцию вирусов. Не менее интересной группой химических соединений, подавляющих адсорбцию вирусов, являются три-терпеновые сапонины, которые в силу своих структурных особенностей, связываясь с холестерином мембраны, способны изменять пространственную структуру мембраны клетки [7]. Другой группой веществ, блокирующих репликацию вирусов, являются полифенольные соединения, не только изменяющие заряд поверхности клетки, но и препятствующие специфической сорбции вируса на рецепторы.

После проникновения вириона в клетку происходит целый комплекс превращений вируса, смысл которых заключается в удалении вирусных защитных оболочек, препятствующих экспрессии вирусного генома. Этот процесс сопровождается рядом характерных особенностей: исчезает инфекционность вируса, появляется чувствительность

к нуклеазам, возникает устойчивость к нейтрализующему действию антител. Основной группой растительных соединений, способных подавлять репродукцию вирусов на стадии освобождения внутреннего компонента вируса, являются аналоги силимарина, лютеолина и кверцетина [8—10].

Репродукция вирусов на этапе экспрессии вирусного генома и сборка вирионов успешно блокируется двумя основными группами растительных соединений: ингибиторами РНК полимераз и ингибиторами посттрансляционных модификаций белков. Механизм действия таких веществ связан с образованием ацил-ферментных производных и основан на блокировании одной из трех основных областей, критичных для активности аспарагиновой протеазы вируса: каталитическое ядро фермента, содержащее пару Asp-Thr/Ser-Gly триад, мобильная flap-область и домен димеризации на N- и C-концах протеазы [11—13].

Блокировать механизм выхода вируса из инфицированной клетки сложно. Одним из способов является использование ингибиторов ферментативной активности вируса, участвующей в почковании вируса. К соединениям с антинейраминидазным действием «имитирующим» структуру натуральных субстратов каталитического сайта нейраминидазы, «привлекает» вирус к большему взаимодействию с ними, относятся коричные и оксикоричные кислоты, галлаты и др. [14, 15].

Эти соединения ингибируют специфические процессы в вирусном цикле репликации [16], проникновение вируса в клетки-мишени [17], а также ингибируют экспрессию вирусных генов и белков, подавляют NF- κ B активность [18], что может помочь предотвратить распространение вирусов.

В настоящее время идентифицированные соединения с противовирусной активностью растительного происхождения, как правило, принадлежат к терпенам (эфирные масла), полифенолам, в том числе флавоноидам, пептидам, полисахаридам. Также показано, наличие противовирусной активности против двух серотипов HSV для стероидов, сапонинов, дубильных веществ, алкалоидов, лигнанов, проантоцианидинов, хинонов и тиосульфатов.

Эфирные масла представляют собой смесь летучих веществ, которые могут содержать более 150 различных химических веществ (альдегиды, кетоны, спирты, фенолы, терпены, сесквитерпены, сложные эфиры, лактоны и простые эфиры). Они

способны ингибировать проникновение вируса в клетку и подавлять выработку гликопротеинов HSV-1 (gC) и HSV-2 (gG), что было установлено для производных спирокеталенолового эфира, выделенных из экстракта корневищ пижмы обыкновенной (*Tanacetum vulgare*) [19]. Клетки Vero после инкубации с HSV и эфирными маслами, полученными из растений семейств Яснотковые (Labiatae) и Вербеновые (Verbenaceae), в течение 48—72 часов резко снижали титр вирусов HSV-1 и HSV-2 [20].

Полифенолы являются естественными антиоксидантами. Это большая группа разнообразных в химическом отношении веществ различного спектра действия, широко распространенных в природе как в виде гликозидов, так и свободных агликонов. Антивирусная активность полифенолов, в целом, связана с прямой инактивацией вируса и/или ингибированием связывания вируса с клетками.

Госсипол (экстракт семян и корней хлопчатника лохматого) представляет собой природный полифенол, который имеет как прямое инактивирующее воздействие на вирусы, взаимодействуя с оболочечными белками вирусных частиц, так и опосредованное, через механизмы индукции интерферонов [21].

Куванон X, активное соединение производного полифенола стильбена, обнаруженное в этом растении, проявляет противовирусную активность против HSV на разных стадиях инфекционного процесса, предотвращая адсорбцию и проникновение, а также экспрессию ранних и поздних генов HSV-1, и репликацию ДНК HSV-1 [22].

Гипорамин, представляющий собой экстракт на основе полифенольного комплекса, полученный из листьев облепихи крушиновидной, блокирует синтез вирусной ДНК [4].

Полисахариды — общее название класса сложных высокомолекулярных углеводов, молекулы которых состоят из десятков, сотен или тысяч мономеров — моносахаридов. Механизмы связывания противовирусных агентов с вирионами и взаимодействия вируса с клеткой хозяина в присутствии полисахарида, вероятно, имеют отношение к его связыванию с гликопротеидами вирусной оболочки, которые затем препятствуют взаимодействию вируса с клеточной плазматической мембраной [23]. Блокирование прикрепления вируса к клетке хозяина препятствует продуктивному инфекционному циклу и внедрению вирусного генома

в клетку [14]. Показано, что содержащий гексозные гликозиды экстракт побегов паслена клубневидного, блокирует синтез вирусной ДНК [24].

Флавоноиды — это группа полифенольных соединений, в основе которых лежит дифенилпропановый скелет. В ряде работ показано, что флавоноиды, изолированные из сумаха сочного (*Rhus succedanea*) и из гарцинии многоцветковой (*Garcinia multiflora*), проявляют антивирусный эффект в отношении вирусов герпеса (HSV-1, HSV-2, вируса герпес-зостер) [25].

Противовирусное действие флавоноидов связано с разнообразием их химических структур. Функциональные группы (в основном фенильные кольца, гидроксильные группы и связанные с ними сахарные молекулы) и их расположение играют важную роль в индуцировании противовирусных эффектов. Механизм антивирусного действия флавоноидов изучен недостаточно. Однако известно, что флавоноиды и фенилпропаноиды (розмариновая кислота, низкомолекулярные гликозидобразующие компоненты хлорогеновой кислоты, кофейной кислоты и их производные) подавляют репликацию вирусов [26].

Хелепин, представляющий собой экстракт лепестки двуцветной (*Lespedeza bicolor*), содержащий сумму флавоноидов, проявляет вирулицидную активность при местном применении [6].

Можно также упомянуть и другие соединения, извлеченные из растений, обладающие противовирусным действием. Так, например, Самарангенин В, выделенный из листьев морской лаванды (*Limonium sinense*), подавляет экспрессию гена HSV-1 α [27]. Исследование ингибирующего действия этанольных экстрактов морской лаванды *Limonium sinense* (Girard) Kuntze на репликацию HSV-1 показало, что основной его компонент самарангенин В (Sam B), значительно подавляет размножение HSV-1 в клетках Vero без явной цитотоксичности [27]. Проведенные эксперименты позволили предположить, что этот противовирусный эффект не связан с блокированием адсорбции вируса. Sam B прерывает образование мультибелкового комплекса альфа-транс-индуктор/C1/Oct-1/GARAT. Механизмы противовирусного действия Sam B, по-видимому, опосредованы, по крайней мере, частично, ингибированием экспрессии альфа-генов HSV-1, включая экспрессию генов ICP0 и ICP4, блокированием бета-транскриптов, таких как мРНК ДНК-полимеразы, и остановкой синтеза ДНК HSV-1 и экспрессии структурных белков в клетках Vero.

Ятеин, выделенный из кипарисовика туполистного (*Chamaecyparis obtusa* (Siebold et Zucc.) Endl.), ингибирует репликацию HSV-1 на клетках HeLa без заметного цитотоксического эффекта, экспрессию альфа-генов HSV-1, включая экспрессию генов ICP0 и ICP4, а также остановку синтеза ДНК и экспрессию структурных белков [28, 29]. Ятеин препятствует образованию мультибелкового комплекса альфа-транс-индукционный фактор/C1/Oct-1/GARAT.

Птерокарнин — соединение, выделенное из птерокарпии стеноптеровидной (*Pterocarya stenoptera* Kunth.) препятствует адгезии и проникновению HSV-2 в клетки хозяина [30]. Ятеин, выделенный из кипарисовика туполистного (*Chamaecyparis obtusa*), ингибирует репликацию HSV-1 в клетках HeLa без заметного цитотоксического эффекта [29], а также предотвращает экспрессию гена HSV-1 α , наряду с экспрессией генов ICP0 и ICP4, останавливая репликацию ДНК HSV-1 и экспрессию структурных белков в клетках HeLa [30]. Глюкоэватромонозид и карденолид из наперстянки шерстистой (*Digitalis lanata* Ehrh.), изменяют клеточный электрохимический градиент и препятствуют пролиферации HSV-1 и HSV-2 в клетках [31]. Водный экстракт из рододендрона ржавого (*Rhododendron ferrugineum* L.), экстракт из миротамнуса (*Myrothamnus flabellifolia* Welw.), обогащенные проантоцианидином, предотвращают развитие инфекции HSV-1 [32—34]. Водный экстракт, полученный из надземных частей рододендрона ржавого (*Rhododendron ferrugineum*), препятствует прикреплению и проникновению вируса HSV-1 (штамм 17 synb) в клетки хозяина при концентрациях более 1 мг/мл и 25 мг/мл [33]. Спиртовой экстракт из листьев эвкалипта кальмадульского (*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.) предотвращает инфекцию HSV-1 и HSV-2 во время и после заражения культуры клеток Vero. Противовирусная активность против HSV-2 проявлялась путем ингибирования проникновения вирусов и последующих инфекционных процессов [37]. Ксантотоксин, бергаптен, императорин, феллоптерин, изоимператорин, императорин и феллоптерин, выделенные из дихлорметанового экстракта плодов дягиля (дудника) лекарственного (*Angelica archangelica* L.), были исследованы как противовирусные агенты против HSV-1. Императорин и феллоптерин оказались наиболее эффективными, минимизировали репликацию HSV-1 и снижали титр вируса [36].

Также известно, что некоторые алкалоиды растений (йохимбин, винкамин, скополамин, капсаицин, аллантаин, октопамин, синефрин, колхицин и тригонеллин) оказывают выраженное противовирусное действие на HSV-1. Было показано, что йохимбин, винкамин и атропин ингибируют и снижают цитопатогенный эффект (ЦПЭ), вызванный вирусом HSV-1 в культуре клеток MDBK с ингибирующей концентрацией 0.8 мкг/мл, а ингибирующая концентрация тригонеллина и капсаицина составляла 0.4 мкг/мл. Алкалоиды скополамин, аллантаин, октопамин, синефрин, колхицин и тригонеллин в концентрации 1.6 мкг/мл также проявили значительную ингибирующую активность в отношении HSV-1 и снижали ЦПЭ вируса [37].

В экспериментах на клетках роговицы глаза кролика было показано, что манзамин А в концентрации 1 мкМ эффективно ингибирует репликацию HSV-1. Ацикловир, как препарат сравнения, продемонстрировал аналогичную активность в более высокой концентрации 50 мкМ. Более того, манзамин А уменьшил выделение инфекционных вирусов в 1011 раз при подсчете бляшек, снижал транскрипцию гена ICP0, согласно данным полимеразной цепной реакции (ПЦР). Среднеэффективная HSV-1-вирусингибирующая концентрация (IC_{50}) манзамина А составила 5.6 мкМ [38].

Раннее лечение на 0-й день инфекции алкалоидом тетрандрином предотвращало развитие герпетического кератита (HSK), вызываемого вирусом HSV-1, у 55% особей мышей линии BALB/c. Введение тетрандрина на 7-й день инфекции было гораздо менее эффективным — снижение признаков HSK-инфекции было выявлено только у 8.5% мышей. Дальнейший анализ показал, что тетрандин не оказывает прямого противовирусного действия, а уменьшение заболеваемости HSK обусловлено снижением воспалительных реакций [39].

В другом исследовании на зостериформной модели было показано, что внутрижелудочное введение мышам 6-О-бутаноил кастаноспермина задерживало развитие поражений, вызванных штаммом SC-16 вируса HSV-1. Кроме того, количество вируса, выделенного из мозга мышей, также уменьшилось. По сравнению с контрольной группой, которой не проводили лечение, вирусная нагрузка в тканях мозга животных, получивших профилактику за 2 дня до заражения, была меньше в 100 раз. IC_{50} 6-О-бутаноил кастаноспермина против HSV-1 составляла 15 ± 4.8 мкМ при введе-

нии до заражения и 37 ± 5.5 мкМ — при введении после заражения [40].

Алкалоид гомохаррингтонин в концентрации от 500 до 1000 нМ также подавлял репликацию HSV-1, что было подтверждено в экспериментах на клетках Vero. В основе его механизма действия лежит снижение экспрессии ICP8, одноцепочечного ДНК-связывающего белка (SSB) HSV-1, который необходим для вирусной репликации. Гомохаррингтонин, синтетический аналог алкалоида, также снижал активность eIF4E-белка (eIF4E является кэп-связывающим белком, который присоединяется к мРНК в сочетании с белками геликазы eIF4A и белок-скаффолдинг eIF4G, облегчая рекрутирование рибосом и начало процесса трансляции белка) [41], что указывает на то, что алкалоид ингибирует HSV-1 путем снижения степени фосфорилирования эндогенного и экзогенного eIF4E [42].

Наиболее выраженным действием обладают протобербериновые алкалоиды, содержащиеся в ряде лекарственных растений (сем. Berberidoideae и т. д.). На клетках Vero показана противовирусная активность у алкалоида берберина, выделенного из корневища коптиса китайского (*Coptis chinensis* Franch.), в отношении вируса HSV-1 и HSV-2. Берберин тормозит синтез вирусного белка слияния HSV, который необходим для проникновения в клетки хозяина во время инфекции. Эти белки слияния gB и gE также известны как поздние генные продукты вируса. IC_{50} берберина в отношении HSV-1 и HSV-2 составили $8.2 \pm 1.2 \times 10^{-2}$ и $8.2 \pm 1.2 \times 10^{-2}$ мг/мл соответственно [43].

β -карболиновые алкалоиды (гармин и соединение-4), выделенные из семян гармалы обыкновенной (*Peganum harmala* L.) семейства Zygophyllaceae, показали выраженную ингибирующую активность в отношении HSV-1 и HSV-2. Гармин и соединение-4 эффективно уменьшали бляшкообразующие единицы HSV-1 и HSV-2 с IC_{50} , равной 4.06 ± 0.68 и 2.12 ± 0.14 мкМ соответственно. Цитотоксическая концентрация (CC_{50}) для гармина и соединения-4 составили 87.15 ± 0.79 и 74.17 ± 0.62 мкМ соответственно [44]. Экстракты, полученные из гармалы обыкновенной (*P. harmala*), показали противовирусную активность против HSV-2. В основе механизма действия лежит способность активных компонентов растения нарушать проникновение вируса в клетки [45]. На клетках Vero у метанольного экстракта семян *P. harmala* в отношении HSV-2 были определены

IC₅₀ и селективный индекс (SI), равные 161 и 13.2 мкг/мл соответственно [46]. Экстракт растения оказывал вирусоцидное действие как при проникновении вирусов, так и при высвобождении новообразованных вирионов, при этом защитного эффекта на клетки не наблюдалось.

Произрастающие на территории ЕС и РФ лекарственные растения, обладающие противогерпетической активностью, представлены далее, а общие сведения о них суммированы в табл. 1.

Алоэ настоящее (*Aloe vera* (L.) Burm.f.) в своем составе имеет широкий спектр веществ, таких как эмодин и алоэмодин, которые проявляют противовирусную активность против двух серотипов HSV [47]. Экстракт *A. vera* ингибировал HSV-1 с IC₅₀, равной 10 000 ± 55 мкг/мл, CC₅₀ — 20 000 ± 94 мкг/мл и SI — 2.0 [48]. Гель, активным компонентом которого является *A. vera*, в концентрациях от 0.2 до 5% подавлял рост HSV-1 и не проявлял цитотоксичности [49]. Экстракт в концентрациях 2—5% оказывал выраженное влияние на уменьшение количества вирусных бляшек после заражения клеток вирусом. Противовирусная активность гелей, содержащих экстракт *A. vera*, и ацикловира были сопоставимы. Горячий глицериновый экстракт *A. vera* способен ингибировать HSV-2 со значениями IC₅₀, CC₅₀ и селективный индекс (SI), равными 428 мкг/мл, 3238 мкг/мл и 7.56 соответственно [50].

Ингибирующий эффект *A. vera* в отношении HSV-1 может быть обусловлен полисахаридами, фенолами, полифенолами, эмодином и антрахиноном [32, 49, 51]. Показано, что эмодин ингибирует репликацию оболочечных вирусов [50].

Водный и этаноловый экстракты *Ocimum basilicum* L. ингибируют оба серотипа HSV. Значения EC₅₀ и SI водных экстрактов в отношении HSV-1 составляют 90.9 мг/мл и 16.2, а для HSV-2 — 51.4 мг/мл и 28.6 соответственно. Этаноловый экстракт проявил ингибирующую активность в отношении HSV-1. EC₅₀ (среднеэффективная концентрация) и SI составили 108.3 мкг/мл и 6.3 [52].

На клетках Vero была продемонстрирована противовирусная активность базилика разных видов — дихлорметановых и метаноловых экстрактов туласи *Ocimum sanctum* L., *Ocimum basilicum* L. и *Ocimum americanum* L. [53] Терапевтический индекс (ТИ) дихлорметанового экстракта *O. americanum* при обработке клеток до заражения составил 1,865, а метанольного экстракта *O. sanctum* — 1.644. При

обработке клеток метанольными экстрактами *O. americanum*, *O. sanctum* и *O. basilicum* с ТИ 2.345, 2.473 и 1.563 соответственно, а дихлорметановыми экстрактами *O. americanum* и *O. basilicum* — 2.623 и 1.835 соответственно, наблюдали подавление адсорбции вируса HSV-2. Метанольный экстракт *O. americanum* и дихлорметановый экстракт *O. basilicum* после адсорбции вируса ингибировали HSV-1F с ТИ 1.63 и 2.215 соответственно. Ингибирующее действие экстрактов на HSV-2G после адсорбции вируса было достаточно высоким для дихлорметанового экстракта *O. sanctum* и метанольного экстракта *O. sanctum* с ТИ 10.003 и 29.395 соответственно. При обработке клеток дихлорметановым и метанольным экстрактами *O. americanum* наблюдали снижение титров вирусов в 8.0 и 10.8 раза. Кроме того, было продемонстрировано зависящее от времени вирусоцидное действие экстракта на вирусные частицы: прямое ингибирование HSV-1F и HSV-2G проявлялось в 100% уменьшении количества бляшек после обработки дихлорметановым и метаноловым экстрактами *O. americanum*. Таким образом, дихлорметановый и метаноловый экстракты *O. sanctum*, *O. basilicum* и *O. americanum* проявили антивирусную активность на различных этапах цикла размножения вируса.

Экстракт коры березы повислой (*Betula pendula* Roth), содержащий тритерпены, бетулин, лупеол и бетулиновая кислота, показал высокие уровни противовирусной активности против вирусов простого герпеса HSV-1 со значениями IC₅₀ в диапазоне от 0.2 до 0.5 мкг/мл [54]. Под влиянием всех исследованных веществ вирусы, чувствительные к ацикловиру и кинические изоляты, устойчивые к нему штаммы HSV-1 были достоверно угнетены. Добавление веществ к неинфицированным вирусом герпеса клеткам до заражения или во время внутриклеточной репликации слабо влияли на размножение вируса. Все вещества проявляли противовирусную активность, когда вирусы предварительно обрабатывали ими до заражения клеток.

Экстракты, полученные из гармалы обыкновенной (*Peganum harmala* L.), проявили противовирусную активность против HSV-2. В основе механизма действия лежит способность активных компонентов растения нарушать проникновение вируса в клетки [55]. На клетках Vero у метанольного экстракта семян *P. harmala* в отношении HSV-2 были определены IC₅₀ и SI, равные 161 и 13.2 мкг/мл соответственно [51]. Экстракт растения оказывал вирусоцидное действие как при

Таблица 1. Список активных компонентов лекарственных растений, произрастающих в Европе и РФ, обладающих противовирусной активностью в отношении вируса простого герпеса

Table 1. List of active compounds of European and Russian medicinal plants with antiviral activity against herpes simplex virus

Название Species	Семейство Family	Тип исследования Type of the study	Тип вируса Virus type	Компоненты Compound	Механизм Action	Ссылки Reference
Алоэ настоящее / <i>Aloe vera</i>	Xanthorrhoeaceae	in vitro	HSV-1 / HSV-2	Полисахариды, эмодин, антрахинон Polysaccharides, emodin, anthraquinone	Ингибирование репликации вирусной оболочки Inhibition of viral envelope replication	[52, 53]
Базилик душистый / <i>Ocimum basilicum</i>	Lamiaceae		HSV-1 / HSV-2	Метанольный и дихлорметановый экстракты Methanol and dichloromethane extracts	Ингибирование активности вируса на различных этапах цикла размножения вируса Inhibition of virus activity at different stages of the virus reproduction cycle	[56]
Береза повислая / <i>Betula pendula</i>	Betulaceae		HSV-1	Тритерпены, бетулин, лупеол и бетулиновая кислота Triterpenes, betulin, lupeol, betulinic acid	—	[57]
Гармала обыкновенная / <i>Peganum harmala</i>	Nitrariaceae		HSV-2	Гармин Garmin	Ингибирование проникновения вируса в клетку, вирусоцидное действие при высвобождении новообразованных вирионов Inhibition of virus entry into the cell, virucidal action on release of new virions	[46, 47]
Герань кроваво-красная / <i>Geranium sanguineum</i>	Geraniaceae		HSV-1/ HSV-2	Полифенольные соединения Polyphenolic compounds	Подавление репликации вируса Suppression of virus replication	[59]
Горечавка жёлтая / <i>Gentiana lutea</i>	Gentianaceae		—	Гентиозид Gentioside	Нет свед. No data	[60]
Дудник лекарственный / <i>Angelica archangelica</i>	Apiaceae		HSV-1	Императорин, феллоптерин Imperatorin, fellopterin	Подавление репликации вирионов Suppression of virus replication	[61]
Имбирь обыкновенный / <i>Zingiber officinale</i>	Zingiberaceae		HSV-1/ HSV-2	Квитерпены (цингиберен, бисаболен, сесквифелландрен, куркумен) Quiterpenes (zingiberene, bisabolene, sesquiphellandrene, curcumen)	Ингибирование репликации до взаимодействия вириона с клеткой Inhibition of replication prior to virion-cell interaction	[62]
Инжир / <i>Ficus carica</i>	Moraceae		HSV-1	Гексановый и гексан-этилацетатный экстракты Hexane and hexane-ethyl acetate extracts	Ингибирование проникновения, адсорбции и репликации вируса Inhibition of virus penetration, adsorption and replication	[64]

Таблица 1. Продолжение

Название Species	Семейство Family	Тип исследования Type of the study	Тип вируса Virus type	Компоненты Compound	Механизм Action	Ссылки Reference
Камелия китайская / <i>Camellia sinensis</i>	Theaceae	in vitro	HSV-1/ HSV-2	Галлат эпикатехина Gallate epicatechin	Ингибирование адсорбции вируса путём связывания вирусного гликопротеина Inhibition of virus adsorption by binding viral glycoprotein	[65, 66]
Кипарисовик туполистный / <i>Chamaecyparis obtuse</i>	Cupressaceae		HSV-1	Ятеин Jatein	Нарушение синтеза вирусной ДНК и структурных белков (ингибирование экспрессии генов HSV-1 ICP0 и ICP4) Disruption of viral DNA and structural protein synthesis (inhibition of HSV-1 ICP0 and ICP4 gene expression)	[28, 29]
Кипрей узколистный / <i>Epilobium angustifolium</i>	Onagraceae		HSV-2	Экстракт ферментированных листьев Fermented leaf extract	Ингибирующая активность по отношению к вирионам Virion inhibition	[25, 49]
Копеечник альпийский / <i>Hedysarum alpinum</i> Копеечник желтоватый / <i>Hedysarum flavescens</i>	Fabaceae		HSV-1/ HSV-2	Мангиферин Mangiferin	Подавление проникновения вируса в клетку Suppression of virus entry into the cell	[68]
Коровяк обыкновенный / <i>Verbascum thapsus</i>	Scrophulariaceae		HSV-1	Компоненты метанольного экстракта листьев Components of leaf methanol extract	Вирусингибирующая активностью Virus inhibitory activity	[71]
Куркума длинная / <i>Curcuma longa</i>	Zingiberaceae		HSV-1/ HSV-2	Куркумин Curcumin	Снижение репликации HSV-1 путём подавления вирусной VP16-опосредованного рекрутмента РНК-полимеразы II. Подавление процесса адсорбции вирионов HSV-1/ HSV-2 к клеткам Reduction of HSV-1 replication by inhibition of viral VP16-mediated recruitment of RNA polymerase II. Suppression of adsorption of HSV-1/ HSV-2 virions to cells	[69, 70]
Лопух большой / <i>Arctium lappa</i>	Asteraceae		HSV-1	Арктигенин, кофейная и хлорогеновая кислоты Arctigenin, caffeic acid and chlorogenic acid	Подавление репликации вируса Suppression of virus replication	[66, 67]

Таблица 1. Окончание

Название Species	Семейство Family	Тип исследова- ния Type of the study	Тип вируса Virus type	Компоненты Compound	Механизм Action	Ссылки Refer- ence
Манго индийское / <i>Mangifera indica</i>	Anacardiaceae	<i>in vitro</i> / <i>in vivo</i>	HSV-1	Мангиферин, тетрагидрокси- пирролидоновый сапонин Mangiferin, tetrahydroxypyrroli- done saponin	Для HSV-1: Подавление репликации путём связы- вания основных оболочечных белков Для HSV-2: Подавление происходит на поздних этапах репликации For HSV-1: Suppression of replication by binding of major envelope proteins For HSV-2: Suppression occurs at late stages of replication	[75, 76]
Манжетка обыкновенная / <i>Alchemilla vulgaris</i>	Rosaceae	<i>in vitro</i>	HSV-1 / HSV-2	Флаваноиды Flavanoids	Вирусингибирующее действие Virus inhibitory effect	[77]
Мелисса лекарственная / <i>Melissa officinalis</i>	Lamiaceae		HSV-1 / HSV-2	Монотерпеналь- дегиды цитраль а, цитраль b и цитро- неллаль	Подавление репликации, препятствует адсорбции вирионов Suppression of virus repli- cation, suppression of virion adsorption	[80— 82]
Мирт обыкновенный / <i>Myrtus communis</i>	Myrtaceae		HSV-1	Гидроспиртовой экстракт Hydroalcoholic extract	Вирусингибирующее действие Virus-inhibiting effect	[83]
Морская лаванда / <i>Limonium sinense</i>	Plumbaginaceae		HSV-1	Самарангенин B Samarangenin B	Подавление репликации вирионов (подавление экспрессии вирусной ДНК и снижая продукцию гли- копротеинов B (gB), gC, gD, gG и белка ICP 5). Подавле- ние экспрессии мРНК gB Suppression of virion rep- lication (suppressing viral DNA expression and reduc- ing production of glycopro- tein B (gB), gC, gD, gG and ICP 5 protein). Suppression of gB mRNA expression	[27]
Мята душистая / <i>Mentha suaveolens</i>	Lamiaceae		HSV-1	Эфирные масла Essential oils	Ингибирование внутри- клеточного метаболизма вируса Inhibition of intracellular virus metabolism	[81]
Мята перечная / <i>Mentha piperita</i>	Lamiaceae		HSV-1	Эфирные масла Essential oils	Подавление репликации и блокирование адсорб- ции вируса Suppression of replica- tion and blocking of virus adsorption	[84]

Примечание. HSV-1 — вирус простого герпеса 1 типа; HSV-2 — вирус простого герпеса 2 типа.

Note. HSV-1 — herpes simplex virus type 1; HSV-2 — herpes simplex virus type 2.

проникновении вирусов, так и при высвобождении новообразованных вирионов, при этом защитного эффекта на клетки не наблюдали.

В культурах клеток Vero и человеческой эмбриональной кожно-мышечной ткани (E6SM) у экстракта герани кроваво-красной (*Geranium sanguineum* L.) показано дозозависимое ингибирование вируса HSV-1 и HSV-2 [46]. Спирто-водный экстракт вызывал значительный противовирусный эффект только при добавлении к клеткам после инфицирования. При добавлении к клеткам до инфицирования, во время адсорбции или проникновения вируса противовирусного эффекта не обнаружили. Водный экстракт из корней растения оказался наименее токсичным для клеточных культур и значительно подавлял репликацию HSV-1 и HSV-2 ($EC_{50} = 3.6\text{—}6.2$ мкг/мл), что проявлялось в снижении ЦПЭ, индуцируемого вирусом, и защите клеток в МТТ-тесте (метилтиазилил тетразолиевый тест). Ингибирование было дозозависимым, штаммоспецифичным и зависело от инокулята вируса. В эксперименте на морских свинках-альбиносах экстракт тормозил развитие герпетических пузырьков после первичного заражения вирусом HSV-1 (штамм Курка). Ингибирующее действие экстракта на репликацию вируса простого герпеса связано с богатым содержанием в нем полифенольных соединений.

Показано наличие вирус-ингибирующего эффекта у суммы ксантоновых гликозидов из корней горечавки желтой *Gentiana lutea* L. (в концентрации 100 мкг/мл ингибирует 1 ТЦД₅₀ (50% тканевая цитопатогенная доза) вируса герпеса (штаммы 1С, 9С, 64) [56]. Данное противовирусное действие обусловлено наличием биологически активного вещества гентиозида — ксантонового гликозида изогентицина.

Дихлорметановый экстракт плодов дудника лекарственного (*Angelica archangelica* L.) и пять фуранокумаринов: ксантотоксин, бергаптен, императорин, феллоптерин и изоимператорин, а также смесь императорина и феллоптерина, были исследованы как потенциальные противовирусные агенты против вируса герпеса. Показано, что наибольшую активность проявили экстракт плодов, императорин, феллоптерин и смесь императорина и феллоптерина, которые позволили снизить репликацию HSV-1 на 5.61 log, 4.7 log, 3.01 log и 3.73 log соответственно. Данные результаты исследования свидетельствуют о том, что фуранокумарины *A. archangelica* могут быть потенциальными кан-

дидатами для разработки природного препарата против HSV-1 [37].

Эфирное масло имбиря аптечного (*Zingiber officinale* Roscoe) проявляет противовирусную активность против многочисленных вирусов, в том числе ингибирует HSV-2 со значением IC_{50} , равным 0.001% [57].

В экспериментах с использованием чувствительного к ацикловиру штамма HSV-1 KOS(15) и резистентных к ацикловиру изолятов пациентов (1246/99 и 496/02) показано, что эфирное масло, полученное из *Z. officinale*, воздействует на вирус до его адсорбции [58].

У инжира (*Ficus carica* L.) также была выявлена противогерпетическая активность. Гексановый и гексан-этилацетатный экстракты растения вызвали наибольшее ингибирование HSV-1, предотвращая проникновение вируса, адсорбцию и внутриклеточную репликацию во всех протестированных концентрациях (от 78 мг/мл до 100 мг/мл) [59].

Камелия китайская (*Camellia sinensis* L.) обладает многими лечебными свойствами, в том числе противовирусным потенциалом для ингибирования вируса герпеса HSV-1 со значениями IC_{50} и SI, равными 20 и 50 мг/мл [60]. Экстракты *C. sinensis* в концентрации 12 мкг/мл полностью ингибируют оба серотипа HSV [61]. Один из основных компонентов *C. sinensis* эпигаллокатехин галлат (EGCG) обладает высокой противовирусной активностью в отношении HSV-1 и HSV-2 и снижает титры вируса герпеса обоого типа в 1000 раз. Противовирусная активность EGCG обусловлена прямым воздействием на вирион. Было показано, что инкубация клеток Vero и CV1 с EGCG в течение 48 ч до заражения HSV-1 и HSV-2, не приводит к снижению продукции HSV [62]. Таким образом, применение *C. sinensis* с целью профилактики герпесвирусного заболевания не эффективно.

Модификация полифенола зеленого чая эпигаллокатехина галлата (EGCG) пальмитатом повышает эффективность EGCG как противовирусного агента. В концентрации 50 мкМ и выше он блокировал образование инфекционных частиц HSV-1, ингибировал адсорбцию HSV-1 на клетках Vero [63].

Выраженная противовирусная активность против HSV-2 продемонстрирована для экстракта ферментированных листьев кипрея узколистного (*Epilobium angustifolium* L., Onagraceae) с CC_{50} ,

равной 85 700 мкг/мл [25]. Выявленное инактивирующее действие на репликацию HSV-2 может быть объяснено входящими в его состав полифенольными соединениями. У экстракта ферментированных листьев *Epilobium angustifolium* на клетках Vero была определена CC_{50} , которая составила 85 700 мкг/мл, и EC_{50} , равная 10.68 мкг/мл [64].

Клинические результаты применения спиртовой настойки корней копеечника альпийского (*Hedysarum alpinum* L.) показали ее высокую эффективность в отношении вируса герпеса: быстрое уменьшение местных симптомов заболевания (локальной болезненности, зуда, жжения, отека и гиперемии слизистой оболочки полости рта). Пациенты, которые наряду с общепринятым лечением хронического рецидивирующего герпеса, принимали настойку, отмечали со 2-го дня лечения улучшение общего самочувствия, исчезновение субъективных и объективных симптомов. Эпителизация эрозий наступала на 7-й день. У 22 из 31 больного (70.9%) наблюдали увеличение продолжительности ремиссии в 2 раза [63]. Экстракты копеечника альпийского (*Hedysarum alpinum*) и копеечника желтоватого (*Hedysarum flavescens* Regel et Schmalh), содержащие γ -ксантоновый С-гликозид мангиферин, препятствуют проникновению вируса внутрь клетки [5].

Мангиферин, получаемый из листьев манго (*Mangifera indica* L.), подавляет репродукцию вирусов герпеса Herpes simplex и Varicella zoster, цитомегаловируса. Являясь активным компонентом препарата Алпизарин, он не только оказывал прямое действие на вирусы, но и обладал способностью индуцировать продукцию INF- γ в клетках крови, способствуя повышению устойчивости организма к вирусным заболеваниям [5]. В экспериментах *in vitro* и *in vivo* показана активность мангиферина в отношении штаммов HSV-1 (AR-29), устойчивых к ацикловиру, с CC_{50} , равной более 500 мкг/мл и IC_{50} —2.9 мкг/мл [65]. На мышах Balb/c продемонстрировано, что 0.7%-ный раствор мангиферина при его местном применении эффективно ингибирует штамм AR-29, снижая очаги поражения, и ускорял заживление. Было доказано, что мангиферин контролирует репликацию HSV. Изучение действия мангиферина и тетрагидрокси-пирролидинового сапонина, выделенного из листьев *Mangifera indica*, против HSV-2 показало их эффективность. EC_{50} против образования бляшек HSV-2 на клетках HeLa составила 111.7 мкг/мл, терапевтический индекс (IC_{50}/EC_{50}) — 8.1. Мангиферин не оказывает прямого

инактивирующего действия на HSV-2, а вероятнее всего, он ингибирует поздние этапы репликации HSV-2 [66].

Показано, что метанольный экстракт листьев коровяка обыкновенного *Verbascum thapsus* L. подавляет цитопатическое действие HSV-1 [67]. Лопух большой (*Arctium lappa* L.) обладает противовирусной активностью в отношении двух серотипов HSV. Фенольные компоненты растения, такие как кофейная и хлорогеновая кислоты, обладают выраженным ингибирующим действием на вирус герпеса (HSV-1, HSV-2) [68]. В экспериментах *in vitro* было выявлено, что водноспиртовой экстракт *Arctium lappa* в концентрации 400 мг/мл ингибировал HSV-1 [69].

Экстракт куркумы (*Curcuma longa* L.) содержит полифенольное соединение куркумин, который влияет на вирусный трансактиваторный белок VP16 — опосредованное привлечение РНК-полимеразы II (Pol II) к промоторам гена Immediate early (IE) и ингибирует репликацию HSV-1. В ряде исследований продемонстрировано, что *C. longa* ингибирует HSV-1, а IC_{50} , CC_{50} и SI составили 33.0, 484.2 мкг/мл и 14.6 соответственно [70] и уменьшает образование бляшек HSV-1 [70, 71]. Куркумин обладает значительной противогерпетической активностью и ингибирует HSV-2 со значением ED_{50} , равным 0.32 мг/мл [72]. Обработка вирусов HSV-1 и HSV-2 куркумином в концентрации 30 мкМ снижала продукцию инфекционных вирионов HSV-1 и HSV-2 в культуре клеток Vero за счет вмешательства в процесс адсорбции [73].

Основным действующим компонентом манжетки обыкновенной *Alchemilla vulgaris* L. является полифенольный комплекс и, в первую очередь, флавоноиды [11, 12]. В экспериментах на культуре клеток почки африканской зеленой мартишки (Vero) показана противовирусная активность в отношении HSV-1 (штамм VR-3) и HSV-2 (штамм MS) водных растворов высушенного этилацетатного извлечения (экстракта) из корней манжетки обыкновенной и этанольного извлечения из ее надземной части [74]. Более выраженный эффект проявлял экстракт, полученный из корней.

Значительная часть исследований европейских трав семейства Lamiaceae сосредоточена на мелиссе лекарственной *Melissa officinalis* L. Экстракты и эфирные масла из этого растения обладают противовирусной активностью в отношении обоих типов вируса герпеса *Herpes simplex*. Основными компонентами эфирного масла *Melissa officinalis*

являются монотерпенальдегиды цитраль а, цитраль б и цитронеллаль.

Исследование профилактического и терапевтического действия экстрактов *Melissa officinalis* на HSV-1 (штамм DA) показало, что при инкубации с вирионами HSV-1 полная инаktivация вируса отмечалась через 3 часа при использовании водного экстракта и через 12 часов при использовании неводных экстрактов [75]. Однако при добавлении водных экстрактов к клеткам почек кролика (RK) до и после инфицирования не наблюдали подавления размножения вируса. Анализ количества бляшек показал, что при концентрации 0.002% эфирного масла *Melissa officinalis* количество бляшек HSV-1 (штамм KOS) сократилось на 98.8% и на 97.2% снизилось число бляшек HSV-2 (штамм HG) [76]. При более высоких дозах вирулентность практически полностью отсутствовала. IC_{50} и SI соответственно составили 0.0004% и 7.5 для HSV-1 и 0.00008% и 37.5 для HSV-2. Когда HSV-1 и HSV-2 были предварительно обработаны маслом *M. officinalis* в его максимальной нецитотоксической концентрации (0.002%), вирулентность значительно снижалась. Однако когда обработку применяли к вирусам во время вирусной адсорбции, отмечали умеренное снижение образования бляшек на 64.8% и 39.9% для HSV-1 и HSV-2 соответственно. Когда клетки RC-37 были обработаны эфирным маслом до или во время инфицирования образование бляшек не изменялось.

Спирто-водный экстракт *Melissa officinalis* обладал выраженным противовирусным действием на HSV-2 после проникновения вируса в клетку [77]. Экстракт не обладал цитотоксичностью при его использовании в концентрациях до 1 мг/мл. При обработке клеток Vero экстрактом в дозе 0.5 мг/мл после инфицирования, цитопатический эффект был снижен на 60%. Однако инкубация экстракта с вирионами HSV-2 не уменьшала проникновение вируса. Авторы статьи предполагают, что *Melissa officinalis* не связывается с HSV-2 для предотвращения проникновения в клетки хозяина, а оказывает свое действие после проникновения. У водного экстракта *Melissa officinalis* при предварительной обработке вириона IC_{50} составила 0.4 мг/мл, а SI — 875, и более 99% инаktivации вируса наблюдали при концентрации 15 мг/мл [78]. Кроме того, экстракт ингибировал прикрепление вирусов к RC-37 на 98% при концентрации 7.5 мг/мл, что в 20 раз ниже максимальной нецитотоксической концентрации (150 мг/мл). Авторы делают вывод, что экстракт *Melissa officinalis*

продемонстрировал как инаktivацию вирусов, так и ингибирование их прикрепления. Таким образом, это растение может быть хорошим кандидатом для его использования в качестве профилактического средства при инфекциях HSV.

В экспериментах *in vitro* на культуре клеток HEp-2 при оценке влияния летучих масел *Melissa officinalis* на репликацию HSV-2 было показано, что титр вируса был снижен до 78% при 1 ТИД₅₀ (50% тканевой инфекционной дозе). Противовирусный эффект летучих масел при значениях 1 ТИД₅₀ и 10 ТИД₅₀ статистически значимо не отличался от ацикловира, но при значении 100 ТИД₅₀ эффект оказался ниже, чем у ацикловира. Летучие масла, полученные из *Melissa officinalis*, ингибируют пролиферацию HSV-2, причем этот эффект изменялся обратно пропорционально концентрации вируса. Противовирусная активность может быть обусловлена цитралем и цитронеллалом, которые занимают важное место среди компонентов летучих масел растений и отвечают за ингибирование синтеза белка в клетках [79].

В экспериментах *in vitro* на культуре клеток почки хомяка (ВНК) у спирто-водного экстракта мирта обыкновенного *Myrtus communis* L. была доказана ингибирующая активность в отношении HSV-1, а IC_{50} и CC_{50} составили 3100 и 4960 мкг/мл [80]. Обнаружена значимая связь между концентрацией экстракта и клеточной гибелью в исследуемой клетке. IC_{50} экстракта в отношении вируса до его прикрепления к клеткам и после проникновения в них составили 3.1 и 1.11 мг/мл соответственно. Согласно модели Probit при увеличении концентрации экстракта процент ингибирования ЦПЭ увеличивался на обеих стадиях.

Эфирное масло мяты душистой (*Mentha suaveolens* Briq.) обладает выраженной противирусной активностью в отношении HSV-1 (штамм F) [81]. При сочетании его с эфирным маслом из чайного дерева (*Melaleuca alternifolia* (Maiden et Betche) Cheel) и ацикловиrom наблюдали аддитивный противовирусный эффект. Каждый экстракт ингибировал внутриклеточный метаболизм вирусов, но не препятствовал их адсорбции.

Исследование противовирусного действия водных экстрактов различных видов растений семейства Lamiaceae, включая экстракты мелиссы лекарственной (*Melissa officinalis* Gren. ex Mutel), мяты перечной (*Mentha piperita* L.), черной головки обыкновенной (*Prunella vulgaris* L.), розмарина лекарственного (*Rosmarinus officinalis*

Spenn), шалфея лекарственного (*Salvia officinalis* L.) и тимьяна обыкновенного (*Thymus vulgaris* L.) показало, что все они обладают противовирусной активностью в отношении вирусов HSV-1 и HSV-2. Более выраженный ингибирующий эффект в отношении HSV-1 (штамм KOS) по сравнению с HSV-2 (штамм HG) был описан в том случае, когда вирионы обрабатывали экстрактами из этих растений до заражения [82]. В то же время, ни один из экстрактов не продемонстрировал способность ингибировать вирусную репликацию при обработке после заражения. *Mentha piperita* и *Salvia officinalis* снижали вирулентность на 85 и 97% соответственно в отношении штамма HSV-1, устойчивого к ацикловиру. Предварительная обработка вируса 20%-ным этанольным экстрактом *Mentha piperita* и 80%-ным этанольным экстрактом *Prunella vulgaris*, *Mentha piperita* и *Thymus vulgaris* обеспечивала полное снижение репликации вируса. Использование других экстрактов уменьшало бляшки более чем на 75%. При добавлении экстрактов во время адсорбции вирусов 80%-ные этанольные экстракты *Prunella vulgaris* и *Mentha piperita* полностью подавляли репродукцию вируса, в то время как все другие экстракты, за исключением 80%-ного этанольного экстракта *Rosmarinus officinalis*, уменьшали образование бляшек более чем на 50%. Авторы пришли к выводу, что 80%-ные этанольные экстракты *Mentha piperita* и *Prunella vulgaris* демонстрируют разные механизмы действия и являются перспективными для лечения HSV инфекций.

При предварительной обработке вирионов 0.01%-ным эфирным маслом *Mentha piperita* в течение 1 часа наблюдали уменьшение образования бляшек HSV-1 (штамм KOS) на 82% и HSV-2

(штамм HG52) на 92% [83]. Значения IC_{50} для HSV-1 и HSV-2 составили 0.002 и 0.0008% соответственно. Когда вирионы HSV-1 инкубировали с эфирным маслом в течение 3 часов, бляшки уменьшились на 99%. Наибольший противовирусный эффект отмечался при предварительной обработке вирусов эфирным маслом. Кроме того, предварительная обработка маслом в концентрации 0.01% подавляла устойчивый к ацикловиру штамм HSV-1 на 99%. Авторы статьи предполагают, что *Mentha piperita* оказывает противовирусное действие путем блокирования адсорбции вирусов.

Исследование противовирусной активности горячего водного экстракта *Mentha piperita* на различных стадиях репликации HSV-1 показало, что экстракт частично предотвращал инфекцию HSV-1 и ингибировал адсорбцию, когда клетки были предварительно обработаны экстрактом, а также ингибировал цикл вирусной репликации HSV-1. При этом ED_{50} была определена как 62.70 мг/мл, а терапевтический индекс (ТИ) — 1.79 [84]. Добавление экстракта после адсорбции вирусов показало, что вирусные частицы были полностью неактивны в течение 2 часов, а выход из клетки вируса был подавлен через 30 часов после заражения.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа проведена в рамках выполнения государственного задания МЗ РФ «Молекулярно-биологические подходы к разработке нового лекарственного средства для терапии заболеваний, вызванных штаммами вируса простого герпеса, резистентными к существующим этиотропным препаратам, TVKQ-2024-0004» (2024-2026).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ (см. REFERENCES)

Bioactive Compounds of Medicinal Plants with Anti-Herpes Effect (Part 1)

© 2024. K. V. Sivak¹, K. I. Stosman^{1*}, E. E. Lesiovskaya²

¹ Smorodintsev Research Institute of Influenza, Ministry of Health of the Russian Federation, Saint-Petersburg, Russia

² Golikov Research Clinical Center of Toxicology, Federal Medical Biological Agency, Saint-Petersburg, Russia

* e-mail: labtox6@rambler.ru

Abstract — Part 1 of the review summarizes data on antiviral activity of 24 medicinal plants from 18 families against herpes simplex virus type I and II. It is shown that active compounds of medicinal plants possessing different mechanisms of action can effectively inhibit the development of herpesvirus infection.

Keywords: herpes simplex virus type I or II, antiviral activity, biologically active compounds

REFERENCES

1. Allakhyarov D. Z., Petrov Y. A., Allakhyarova N. V., Palieva N. V. 2022. Genital herpes: clinical and pathogenetic aspects of its course in pregnant women. — Modern problems of science and education. 4. <https://science-education.ru/ru/article/view?id=31796> (In Russian)
2. Isakov V. A., Arkhipova E. I., Isakov D. V. 2006. [Human herpesvirus infections]. St. Petersburg. 303 p. (In Russian)
3. Bogoyavlensky A. P., Turmagambetova A. S., Berezin V. E. 2013. Antiviral preparations of plant origin. — Fundamental research. 6(5): 1141—1145. (In Russian)
4. Krepkova L. V., Bortnikova V. V., Shkarenkov A. A., Kuznetsov Y. B. 2001. [Toxicological evaluation of a new antiviral drug hyporamine]. — In: [Development and introduction of new methods and means of traditional medicine]. Vol. 2. Moscow. P. 191—192. (In Russian)
5. Vichkanova S. A. 2000. [Effectiveness of alpizarin in herpesvirus diseases in children and adults]. — Practical phytotherapy 1: 34—39. (In Russian)
6. Vichkanova S. A. 2006. [Clinical studies of helepin — antiviral agent from the herb *Lespedeza hedysaroides* (Pall.) Kitag.]. — Chemistry, technology, medicine: Collection of scientific papers dedicated to the 75th anniversary of the All-Russian Institute of Medicinal and Aromatic Plants. Moscow. P. 480—484. (In Russian)
7. Li Y., Jiang R., Ooi L. S. M., But P. P. H., Ooi V. E. C. 2007. Antiviral triterpenoids from the medicinal plant *Schefflera heptaphylla*. — Phytother Res. 21(5): 466—470. <https://doi.org/10.1002/ptr.1962>
8. Balunas M. J., Kinghorn A. D. 2005. Drug discovery from medicinal plants. — Life Sci. 78(5): 431—441. <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2005.09.012>
9. Wagoner J., Morishima C., Graf T. N., Oberlies N. H., Teissier E., Pécheur E. I., Tavis J. E., Polyak S. J. 2011. Differential *in vitro* effects of intravenous versus oral formulations of silibinin on the HCV life cycle and inflammation. — PLoS One. 6(1): e16464. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0016464>
10. Wagoner J., Negash A., Kane O. J., Martinez L. E., Nahmias Y., Bourne N., Owen D. M., Grove J., Brimacombe C., McKeating J. A., Pécheur E. I., Graf T. N., Oberlies N. H., Lohmann V., Cao F., Tavis J. E., Polyak S. J. 2010. Multiple effects of silymarin on the hepatitis C virus lifecycle. — Hepatology. 51(6): 1912—1921. <https://doi.org/10.1002/hep.23587>
11. Galegov G. A., Andronova V. L., Leontyeva N. A., Lvov N. D., Petrova I. G. 2004. Etiotropic medicinal therapy of viral infections. — Problems of Virology. 49(3): 35—40. <https://elibrary.ru/item.asp?id=17039285> (In Russian)
12. Deyrup M., Sidwell R., Little R., Druzgala P., Bodor N., Brewster M. E. 1991. Improved delivery through biological membranes. Synthesis and antiviral activity of a series of ribavirin chemical delivery systems: 2' and 3' derivatives. — Antivir. Chem. Chemother. 2(6): 337—55. <https://doi.org/10.1177/095632029100200603>
13. Patick A. K., Potts K. E. 1998. Protease inhibitors as antiviral agents. — Clinic. Microbiol. Rev. 11(4): 614—627. <https://doi.org/10.1128/cmr.11.4.614>
14. Bantia S., Parker C. D., Ananth S. L., Horn L. L., Andries K., Chand P., Kotian P. L., Dehghani A., El-Kattan Y., Lin T., Hutchison T. L., Montgomery J. A., Kellog D. L., Babu Y. S. 2001. Comparison of the anti-influenza virus activity of RWJ-270201 with those of oseltamivir and zanamivir. — Antimicrob. Agents Chemother. 45(4): 1162—1167. <https://doi.org/10.1128/AAC.45.4.1162-1167.2001>
15. Sidwell R. 1995. Ribavirin: A review of antiviral efficacy. — In: Abstr. Recent. Res. Devel. in Antimicrob. Agents and Chemother. Research Signpost. India. 1: 219—256.
16. Hassan S., Berchová-Bímová K., Šudomová M., Malaník M., Šmejkal K., Rengasamy K. 2018. *In vitro* study of multi-therapeutic properties of *Thymus bovei* Benth. essential oil and its main component for promoting their use in clinical practice. — J. Clin. Med. 7(9): 283. <https://doi.org/10.3390/jcm7090283>
17. Rouf R., Uddin S. J., Sarker D. K., Islam M. T., Ali E. S., Shilpi J. A., Nahar L., Tiralongo E., Sarker S. D. 2020. Antiviral potential of garlic (*Allium sativum*) and its organosulfur compounds: A systematic update of pre-clinical and clinical data. — Trends Food Sci. Technol. 104: 219—234. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.08.006>
18. Hutterer C., Milbradt J., Hamilton S., Zaja M., Leban J., Henry C., Vitt D., Steingruber M., Sonntag E., Zeitträger I., Bahsi H., Stamminger T., Rawlinson W., Strobl S., Marschall M. 2017. Inhibitors of dual-specificity tyrosine phosphorylation-regulated kinases (DYRK) exert a strong anti-herpesviral activity. — Antivir. Res. 143: 113—121. <https://doi.org/10.1016/j.antiviral.2017.04.003>

19. Brand Y.M., Roa-Linares V.C., Betancur-Galvis L.A., Durán-García D.C., Stashenko E. 2016. Antiviral activity of Colombian Labiatae and Verbenaceae family essential oils and monoterpenes on Human Herpes viruses. — J. Essent. Oil Res. 28(2): 130—137.
<https://doi.org/10.1080/10412905.2015.1093556>
20. Baram N.I., Ismailov A.I., Ziyaev Kh. L., Rezhepov K. Zh. 2004. Biological activity of gossypol and its derivatives. — Chem. Nat. Compd. 40(3): 199—205.
<https://doi.org/10.1023/B:CONC.0000039123.09208.79>
21. Ma F., Shen W., Zhang X., Li M., Wang Y., Zou Y., Li Y., Wang H. 2016. Anti-HSV activity of Kuwanon X from mulberry leaves with genes expression inhibitory and HSV-1 induced NF-κB deactivated properties. — Biol. Pharm. Bull. 39(10): 1667—1674.
<https://doi.org/10.1248/bpb.b16-00401>
22. Marchetti M., Pisani S., Pietropaolo V., Seganti L., Nicoletti R., Degener A., Orsi N. 1996. Antiviral effect of a polysaccharide from *Sclerotium glaucum* towards herpes simplex virus type 1 infection. — Planta Med. 62(4): 303—307.
<https://doi.org/10.1055/s-2006-957889>
23. Panavir in the treatment of viral infections. 2005. Moscow. 172 p. (In Russian)
24. Lin Y.M., Flavin M.T., Schure R., Chen F.C., Sidwell R., Barnard D.L., Huffman J.H., Kern E.R. 1999. Antiviral activities of biflavonoids. — Planta Med. 65(2): 120—125. PMID: 10193201.
<https://doi.org/10.1055/s-1999-13971>
25. Litvinenko V.I., Popova T.P., Simonjan A.V., Zoz I.G., Sokolov V.S. 1975. Tannins and derivatives of hydroxycinnamic acid in Labiatae. — Planta Med. 27(4): 372—380.
<https://doi.org/10.1055/s-0028-1097817>
26. Kuo Y.C., Lin L.C., Tsai W.J., Chou C.H., Kung S.H., Ho Y.H. 2002. Samarangenin B from *Limonium sinense* suppress herpes simplex virus type 1 replication in Vero cells by regulation of viral macromolecular synthesis. — Antimicrob. Agents Chemother. 46(9): 2854—2864.
<https://doi.org/10.1128/AAC.46.9.2854-2864.2002>
27. Kuo Y.C., Kuo Y.H., Lin Y.L., Tsai W.J. 2006. Yatein from *Chamaecyparis obtusa* suppresses herpes simplex virus type 1 replication in HeLa cells by interruption the immediate-early gene expression. — Antivir. Res. 70(3): 112—120.
<https://doi.org/10.1016/j.antiviral.2006.01.011>
28. Wang Y., Wang X., Xiong Y., Kaushik A.C., Muhammad J., Khan A., Dai H., Wei D.Q. 2020. New strategy for identifying potential natural HIV-1 non-nucleoside reverse transcriptase inhibitors against drug-resistance: an *in silico* study. — J. Biomol. Struct. Dyn. 38(11): 3327—3341.
<https://doi.org/10.1080/07391102.2019.1656673>
29. Cheng H.Y., Lin T.C., Yang C.M., Wang K.C., Lin C.C. 2004. Mechanism of action of the suppression of herpes simplex virus type 2 replication by pterocarnin A. — Microbes Infect. 6(8): 738—744.
<https://doi.org/10.1016/j.micinf.2004.03.009>
30. Faith S.A., Sweet T.J., Bailey E., Booth T., Docherty J.J. 2006. Resveratrol suppresses nuclear factor-κB in herpes simplex virus infected cells. — Antivir. Res. 72(3): 242—251.
<https://doi.org/10.1016/j.antiviral.2006.06.011>
31. Danaher R.J., Wang C., Dai J., Mumper R.J., Miller C.S. 2011. Antiviral effects of blackberry extract against herpes simplex virus type 1. — Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod. 112(3): e31—35.
<https://doi.org/10.1016/j.tripleo.2011.04.007>
32. Gescher K., Kühn J., Hafezi W., Louis A., Derksen A., Deters A., Lorentzen E., Hensel A. 2011. Inhibition of viral adsorption and penetration by an aqueous extract from *Rhododendron ferrugineum* L. as antiviral principle against herpes simplex virus type-1. — Fitoterapia. 82(3): 408—413.
<https://doi.org/10.1016/j.fitote.2010.11.022>
33. Gescher K., Kühn J., Lorentzen E., Hafezi W., Derksen A., Deters A., Hensel A. 2011. Proanthocyanidin-enriched extract from *Myrothamnus flabellifolia* Welw. exerts antiviral activity against herpes simplex virus type 1 by inhibition of viral adsorption and penetration. — J. Ethnopharmacol. 134(2): 468—474.
<https://doi.org/10.1016/j.jep.2010.12.038>
34. Okba M.M., El Gedaily R.A., Ashour R.M. 2017. UPLC—PDA—ESI—qTOF-MS profiling and potent anti-HSV-II activity of *Eucalyptus sideroxylon* leaves. — J. of Chromatography B. 1068—1069: 335—342.
<https://doi.org/10.1016/j.jchromb.2017.10.065>

35. Rajtar B., Skalicka-Woźniak K., Świątek L., Stec A., Boguszevska A., Polz-Dacewicz M. 2017. Antiviral effect of compounds derived from *Angelica archangelica* L. on herpes simplex virus-1 and Coxsackievirus B3 infections. — Food Chem. Toxicol. 109(Pt. 2): 1026—1031.
<https://doi.org/10.1016/j.fct.2017.05.011>
36. Özçelik B., Kartal M., Orhan I. 2011. Cytotoxicity, antiviral and antimicrobial activities of alkaloids, flavonoids, and phenolic acids. — Pharm. Biol. 49(4): 396—402.
<https://doi.org/10.3109/13880209.2010.519390>
37. Palem J. R., Bedadala G. R., El Sayed K. A., Hsia S. C. V. 2011. Manzanine A as a novel inhibitor of herpes simplex virus type-1 replication in cultured corneal cells. — Planta Med. 77(01): 46—51.
<https://doi.org/10.1055/s-0030-1250093>
38. Hu S., Dutt J., Zhao T., Foster C. S. 1997. Tetrandrine potently inhibits herpes simplex virus type-1-induced keratitis in BALB/c mice. — Ocul. Immunol. Inflamm. 5(3): 173—180.
<https://doi.org/10.3109/09273949709116892>
39. Bridges C. G., Ahmed S. P., Kang M. S., Nash R. J., Porter E. A., Tyns A. S. 1995. The effect of oral treatment with 6-*O*-butanoyl castanospermine (MDL 28,574) in the murine zosteriform model of HSV-1 infection. — Glycobiology. 5(2): 249—253.
<https://doi.org/10.1093/glycob/5.2.249>
40. Amorim I. S., Lach G., Gkogkas C. G. 2018. The role of the eukaryotic translation initiation factor 4E (eIF4E) in neuropsychiatric disorders. — Front Genet. 9: 561.
<https://doi.org/10.3389/fgene.2018.00561>
41. Dong H. J., Wang Z. H., Meng W., Li C. C., Hu Y. X., Zhou L., Wang X. J. 2018. The natural compound homoharringtonine presents broad antiviral activity *in vitro* and *in vivo*. — Viruses. 10(11): 601.
<https://doi.org/10.3390/v10110601>
42. Chin L. W., Cheng Y. W., Lin S. S., Lai Y. Y., Lin L. Y., Chou M. Y., Chou M. C., Yang C. C. 2010. Anti-herpes simplex virus effects of berberine from *Coptidis Rhizoma*, a major component of a Chinese herbal medicine, Ching-Wei-San. — Arch Virol. 155(12): 1933—1941.
<https://doi.org/10.1007/s00705-010-0779-9>
43. Wu Z. N., Chen N. H., Tang Q., Chen S., Zhan Z. C., Zhang Y. B., Wang G. C., Li Y. L., Ye W. C. 2020. β -carboline alkaloids from the seeds of *Peganum harmala* and their anti-HSV-2 virus activities. — Org Lett. 22(18): 7310—7314.
<https://doi.org/10.1021/acs.orglett.0c02650>
44. Benzekri R., Bouslama L., Papetti A., Hammami M., Smaoui A., Limam F. 2018. Anti HSV-2 activity of *Peganum harmala* (L.) and isolation of the active compound. — Microb. Pathog. 114: 291—298.
<https://doi.org/10.1016/j.micpath.2017.12.017>
45. Serkedjieva J., Ivancheva S. 1999. Antiherpes virus activity of extracts from the medicinal plant *Geranium sanguineum* L. — J. Ethnopharmacol. 64(1): 59—68.
[https://doi.org/10.1016/s0378-8741\(98\)00095-6](https://doi.org/10.1016/s0378-8741(98)00095-6)
46. Ebrahimi E., Mousavi-Jazayeri S., Rezaee M., Parsania M. 2021. Antiviral effects of *Aloe vera* (L.) Burm. f. and *Ruta graveolens* L. extract on acyclovir-resistant herpes simplex virus type 1. — JMPB. 10(1): 103—108.
<https://doi.org/10.22092/jmpb.2021.352463.1286>
47. Silantieva E. N. 2017. Phytotherapy in complex treatment of chronic recurrent herpes of the oral mucosa. — Science almanac. 7—1(33): 218—220. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29864684> (In Russian)
48. Rezazadeh F., Moshaverinia M., Motamedifar M., Alyaseri M. 2016. Assessment of anti HSV-1 Activity of *Aloe vera* gel extract: an *in vitro* study. — J. Dent. (Shiraz). 17(1): 49—54.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/pmc4771053/>
49. Zandi K., Zadeh M. A., Sartavi K., Rastian Z. 2007. Antiviral activity of *Aloe vera* against herpes simplex virus type 2: an *in vitro* study. — Afr. J. Biotechnol. 6(15): 1770—1773.
<https://doi.org/10.5897/AJB2007.000-2276>
50. Motamedifar M., Ghafari N., Talezadeh Shirazi P. 2010. The effect of cumin seed extracts against herpes simplex virus type 1 in Vero cell culture. — Iran. J. Med. Sci. 35(4): 304—309.
https://ijms.sums.ac.ir/article_39801.html
51. Chiang L. C., Ng L. T., Cheng P. W., Chiang W., Lin C. C. 2005. Antiviral activities of extracts and selected pure constituents of *Ocimum basilicum*. — Clin. Exp. Pharmacol. Physiol. 32(10): 811—816.
<https://doi.org/10.1111/j.1440-1681.2005.04270.x>

52. Yucharoen R., Anuchapreeda S., Tragoolpua Y. 2011. Anti-herpes simplex virus activity of extracts from the culinary herbs *Ocimum sanctum* L., *Ocimum basilicum* L., *Ocimum americanum* L. — Afr. J. Biotechnol. 10(5): 860—866. <https://www.ajol.info/index.php/ajb/article/view/92439>
53. Navid M. H., Laszczyk-Lauer M. N., Reichling J., Schnitzler P. 2014. Pentacyclic triterpenes in birch bark extract inhibit early step of herpes simplex virus type 1 replication. — Phytomedicine. 21(11): 1273—1280. <https://doi.org/10.1016/j.phymed.2014.06.007>
54. Brežáni V., Leláková V., Hassan S. T. S., Berchová-Bímová K., Nový P., Klouček P., Maršík P., Dall'Acqua S., Hošek J., Šmejkal K. 2018. Anti-infectivity against herpes simplex virus and selected microbes and anti-inflammatory activities of compounds isolated from *Eucalyptus globulus* Labill. — Viruses. 10(7): 360. <https://doi.org/10.3390/v10070360>
55. Nikolaev S. M., Vichkanova S. A., Nikolaeva G. G., Tsyrenzhapov A. V., Sambueva Z. G., Glyzin V. I., Dargaeva T. D., Brednyova T. D. 2001. The studies of antimicrobial activity of xanthones from overground part and root *Gentiana lutea* L. — The Siberian Medical Journal. 25: 44—46. <https://cyberleninka.ru/article/n/izuchenie-antimikrobnoy-aktivnosti-ksantonovyh-soedineniy-vydeleniyh-iz-gorechavki-zhyoltoy> (In Russian)
56. Koch C., Reichling J., Schnee J., Schnitzler P. 2008. Inhibitory effect of essential oils against herpes simplex virus type 2. — Phytomedicine. 15(1-2): 71—78. <https://doi.org/10.1016/j.phymed.2007.09.003>
57. Schnitzler P., Koch C., Reichling J. 2007. Susceptibility of drug-resistant clinical herpes simplex virus type 1 strains to essential oils of ginger, thyme, hyssop, and sandalwood. — Antimicrob. Agents Chemother. 51(5): 1859—1862. <https://doi.org/10.1128/AAC.00426-06>
58. Aref H. L., Gaaliche B., Fekih A., Mars M., Aouni M., Chaumon J. P., Said K. 2011. *In vitro* cytotoxic and antiviral activities of *Ficus carica* latex extracts. — Nat. Prod. Res. 25(3): 310—319. <https://doi.org/10.1080/14786419.2010.528758>
59. Farahani M. 2014. Anti-herpes simplex virus effect of *Camellia Sinesis*, *Echiumamoenum* and *Nerium oleander*. — Journal of Applied and Environmental Microbiology. 2(4): 102—105. <http://pubs.sciepub.com/jaem/abstract/1879>
60. Deepika G., Durgadevi H., Narayan R., Sudanthira M., Manickan E. 2014. Anti-Herpes Simplex Viruses activity of *Camellia sinensis*, member of the family Theaceae (green tea). — BMC Infectious Diseases. 14(Suppl 3): P47. <https://doi.org/10.1186/1471-2334-14-S3-P47>
61. Isaacs C. E., Wen G. Y., Xu W., Jia J. H., Rohan L., Corbo C., Di Maggio V., Jenkins E. C. Jr., Hillier S. 2008. Epigallocatechin gallate inactivates clinical isolates of herpes simplex virus. — Antimicrob. Agents Chemother. 52(3): 962—970. <https://doi.org/10.1128/AAC.00825-07>
62. de Oliveira A., Adams S. D., Lee L. H., Murray S. R., Hsu S. D., Hammond J. R., Dickinson D., Chen P., Chu T. C. 2013. Inhibition of herpes simplex virus type 1 with the modified green tea polyphenol palmitoyl-epigallocatechin gallate. — Food Chem. Toxicol. 52: 207—215. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2012.11.006>
63. Kazachinskaia E. I., Chepurnov A. A., Shelemba A. A., Guseinova S. A., Magomedov M. G., Kononova Y. V., Romanuk V. V., Shestopalov A. M. 2022. Inhibitory activity of aqueous extracts of tea compositions, individual ingredients for their preparation and some plants on replication of *Herpes simplex* virus type 2 *in vitro*. — South of Russia: ecology, development. 17(3): 135—152. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2022-3-135-152> (In Russian)
64. Rechenchoski D. Z., Agostinho K. F., Faccin-Galhardi L. C., Lonni A. A. S. G., da Silva J. V. H., de Andrade F. G., Cunha A. P., Ricardo N. M. P. S., Nozawa C., Linhares R. E. C. 2020. Mangiferin: A promising natural xanthone from *Mangifera indica* for the control of acyclovir — resistant herpes simplex virus 1 infection. — Bioorg. Med. Chem. 28(4): 115304. <https://doi.org/10.1016/j.bmc.2020.115304>
65. Zhu X. M., Song J. X., Huang Z. Z., Wu Y. M., Yu M. J. 1993. [Antiviral activity of mangiferin against herpes simplex virus type 2 *in vitro*]. — Zhongguo Yao Li Xue Bao. 14(5): 452—454. PMID: 8010041. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/8010041/> (In Chinese)
66. McCutcheon A. R., Roberts T. E., Gibbons E., Ellis S. M., Babiuk L. A., Hancock R. E., Towers G. H. 1995. Antiviral screening of British Columbian medicinal plants. — J. Ethnopharmacol. 49(2): 101—110. [https://doi.org/10.1016/0378-8741\(95\)90037-3](https://doi.org/10.1016/0378-8741(95)90037-3)

67. Chan Y. S., Cheng L. N., Wu J. H., Chan E., Kwan Y. W., Lee S. M., Leung G. P., Yu P. H., Chan S. W. 2011. A review of the pharmacological effects of *Arctium lappa* (burdock). — *Inflammopharmacology*. 19(5): 245–254.
<https://doi.org/10.1007/s10787-010-0062-4>
68. Dias M. M., Zuza O., Riani L. R., de Faria Pinto P., Pinto P. L. S., Silva M. P., de Moraes J., Ataíde A. C. Z., de Oliveira Silva F., Cecílio A. B., Da Silva Filho A. A. 2017. *In vitro* schistosomicidal and antiviral activities of *Arctium lappa* L. (Asteraceae) against *Schistosoma mansoni* and Herpes simplex virus-1. — *Biomed. Pharmacother.* 94: 489–498.
<https://doi.org/10.1016/j.biopha.2017.07.116>
69. Lyu S. Y., Rhim J. Y., Park W. B. 2005. Antiherpetic activities of flavonoids against herpes simplex virus type 1 (HSV-1) and type 2 (HSV-2) *in vitro*. — *Arch. Phar. Res.* 28(11): 1293–1301.
<https://doi.org/10.1007/bf02978215>
70. Fani M. M., Motamedifar M., Kordshouli M. Z. 2015. *In vitro* assessment of the anti-viral effect of *Curcumin longa* on herpes simplex virus type 1. — *J. Biol. Today's World*. 4(5): 115–119.
<https://www.iomcworld.org/articles/in-vitro-assessment-of-the-antiviral-effect-of-curcumin-longa-on-herpes-simplex-virus-type-1.pdf>
71. Kutluay S. B., Doroghazi J., Roemer M. E., Triezenberg S. J. 2008. Curcumin inhibits herpes simplex virus immediate-early gene expression by a mechanism independent of p300/CBP histone acetyltransferase activity. — *Virology*. 373(2): 239–247.
<https://doi.org/10.1016/j.virol.2007.11.028>
72. Flores D. J., Lee L. H., Adams S. D. 2016. Inhibition of curcumin-treated herpes simplex virus 1 and 2 in Vero cells. — *Adv. Microbiol.* 6(4): 276–287.
<https://doi.org/10.4236/aim.2016.64027>
73. Mazurkova N. A., Kukushkina T. A., Vysochina G. I., Ibragimova Z. B., Lobanova I. E., Filippova E. I., Mazurkov O. Yu., Makarevich E. V., Shishkina L. N., Agafonov A. P. 2016. Study of anti-herpetic activity of Lady's mantle (*Alchemilla vulgaris* L.) extracts. — *Drug Development and Registration*. 1(14): 118–127.
<https://www.pharmjournal.ru/jour/article/view/230> (In Russian)
74. Dimitrova Z., Dimov B., Manolova N., Pancheva S., Ilieva D., Shishkov S. 1993. Antiherpes effect of *Melissa officinalis* L. extracts. — *Acta Microbiol. Bulg.* 29: 65–72.
75. Schnitzler P., Schuhmacher A., Astani A., Reichling J. 2008. *Melissa officinalis* oil affects infectivity of enveloped herpesviruses. — *Phytomedicine*. 15(9): 734–740.
<https://doi.org/10.1016/j.phymed.2008.04.018>
76. Mazzanti G., Battinelli L., Pompeo C., Serrilli A. M., Rossi R., Sauzullo I., Mengoni F., Vullo V. 2008. Inhibitory activity of *Melissa officinalis* L. extract on *Herpes simplex* virus type 2 replication. — *Nat. Prod. Res.* 22(16): 1433–1440.
<https://doi.org/10.1080/14786410802075939>
77. Astani A., Reichling J., Schnitzler P. 2012. *Melissa officinalis* extract inhibits attachment of herpes simplex virus *in vitro*. — *Chemotherapy*. 58(1): 70–77.
<https://doi.org/10.1159/000335590>
78. Allahverdiyev A., Duran N., Ozguven M., Koltas S. 2004. Antiviral activity of the volatile oils of *Melissa officinalis* L. against *Herpes simplex* virus type-2. — *Phytomedicine*. 11(7–8): 657–661.
<https://doi.org/10.1016/j.phymed.2003.07.014>
79. Moradi M. T., Karimi A., Rafieian-Kopaei M., Kheiri S., Saedi-Marghmaleki M. 2011. The inhibitory effects of myrtle (*Myrtus communis*) extract on herpes simplex virus-1 replication in baby hamster kidney cells. — *J. Shahrekord University of Medical Sciences*. 12(4): 54–61. (In Arabic)
80. Civitelli L., Panella S., Marcocci M. E., De Petris A., Garzoli S., Pepi F., Vavala E., Ragno R., Nencioni L., Palamara A. T., Angiolella L. 2014. *In vitro* inhibition of herpes simplex virus type 1 replication by *Mentha suaveolens* essential oil and its main component piperitenone oxide. — *Phytomedicine*. 21(6): 857–865.
<https://doi.org/10.1016/j.phymed.2014.01.013>
81. Nolkemper S., Reichling J., Stintzing F. C., Carle R., Schnitzler P. 2006. Antiviral effect of aqueous extracts from species of the Lamiaceae family against herpes simplex virus type 1 and type 2 *in vitro*. — *Planta Med.* 72(15): 1378–1382.
<https://doi.org/10.1055/s-2006-951719>
82. Schuhmacher A., Reichling J., Schnitzler P. 2003. Virucidal effect of peppermint oil on the enveloped viruses herpes simplex virus type 1 and type 2 *in vitro*. — *Phytomedicine*. 10(6–7): 504–510.
<https://doi.org/10.1078/09447110332231467>
83. Omidian J., Sheikhi-Shooshtari F., Fazeli M. 2014. Inhibitory effect of *Mentha piperita* extracts against herpes simplex virus isolated from eye infection. — *Iran. J. Virol.* 8(1): 35–41.
<https://doi.org/10.21859/isv.8.1.35>

УДК 58.002

ИЗУЧЕНИЕ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ПАСТБИЩ СЕВЕРНОГО ОЛЕНЯ: ИСТОРИЯ И ОСНОВНЫЕ ПОДХОДЫ В СОВРЕМЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

© 2024 г. Д. Д. Карсонова

Ботанический институт им. В. Л. Комарова РАН, Санкт-Петербург, Россия
e-mail: dariakarson@gmail.com

Поступила в редакцию 29.11.2023

После доработки 07.02.2024

Принята к публикации 15.02.2024

Обзор охватывает историю изучения пастбищ северного оленя припечорских тундр с конца XIX в. до настоящего времени. Освещены основные направления изучения растительности оленьих пастбищ в СССР и России, США, Канаде, Швеции, Норвегии и Финляндии на протяжении XX в. Современные подходы в этой области значительно различаются, в статье приведен обзор публикаций за последние десятилетия и рассмотрены основные, наиболее перспективные направления исследований.

Ключевые слова: пастбища северного оленя, восточноевропейские тундры, история исследований

DOI: 10.31857/S0033994624020027, **EDN:** PYYZUP

Вопросы оценки состояния растительности пастбищ и ее изменения под влиянием оленеводства относятся к важным направлениям научных исследований в государствах арктической зоны, поскольку оленеводство служит основой жизнедеятельности коренного населения районов Крайнего Севера. Пастбища северного оленя занимают значительную часть (335.2 млн га, 19.6% земельного фонда страны) северных территорий нашей страны [1]. Будучи основной ресурсной базой Арктики, пастбища являются уникальным объектом исследований в силу своей динамичности из-за географических и климатических особенностей. Работы советских геоботаников [2–4 и др.] по изучению оленьих пастбищ легли в основу современных подходов по изучению растительности российской Арктики.

ИСТОРИЯ ИЗУЧЕНИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ПАСТБИЩ ПРИПЕЧОРСКИХ ТУНДР В XX ВЕКЕ

Изучение растительности восточноевропейских тундр связывают, в первую очередь, с именами таких исследователей, как А. Шренк [2] и Г. И. Танфильев [3], заложившими основу для последующей работы нескольких поколений геоботаников. В 1837 г. А. Шренк осуществил свою

первую экспедицию на ранее не исследованные территории припечорских тундр (Большеземельская тундра), во время которой сделал ряд важных ботанических открытий, уделив внимание продвижению некоторых древесных пород на север, островным участкам леса в тундре, описал 352 вида растений. Исследователем впервые была предпринята попытка районирования тундр, подробно описана практика тундрового оленеводства, изучен ресурсный потенциал тундровой растительности. Кроме того, он одним из первых заинтересовался вопросом распространения многолетнемерзлых пород, измеряя толщину промерзания на ключевых участках [2].

Впоследствии Г. И. Танфильев (1892 г.) проводил исследования на территории Малоземельской (Тиманской) тундры, детально описал растительность Припечорья и обработал внушительный объем данных о тундрах, имеющих в мировой литературе. Результаты исследований, проведенных Г. И. Танфильевым в Тиманской тундре, были опубликованы в 1894 г. в статье [4], представлявшей собой предварительный отчет об экспедиции. В одной из работ [5] ученым охарактеризованы метеорологические условия изучаемой территории, предпринята попытка типизации растительности тундр с выделением: 1) тундры каменистой; 2) торфяно-кочкарной; 3) пятнистой, или лысой

(глинистой или песчаной) и 4) торфяно-бугристой. По его мнению, на этой территории наибольшее распространение имеет торфяно-бугристая тундра. Приводя подробное описание различных «типов растительности» тундровой зоны, исследователь детально объясняет процесс формирования бугристой торфяной тундры и подробно останавливается на причинах отступления к югу полярной границы лесов в Тиманской тундре. Причиной, ведущей к уничтожению лесов вдоль южных окраин Тиманской тундры, по мнению Г. И. Танфильева, служит процесс заболачивания почвы, приводящий к повышению горизонта залегания многолетнемерзлых пород.

В советское время наступает новый этап в изучении растительности пастбищ припечорских тундр. Было проведено комплексное изучение всего Крайнего Севера, в котором для Большеземельской тундры необходимо отметить вклад А. А. Григорьева [6]. Исследователь впервые установил моренный характер возвышенностей, уточнил положение северной границы древесной растительности, определил основные закономерности в процессе почвообразования и формирования микрорельефа тундры. Вместе с промышленным освоением Севера с 1930-х годов начинаются комплексные геоботанические исследования для решения многих практических задач. Значительный вклад в инвентаризацию пастбищ внес Институт оленеводства (НИИ Оленеводства) при ВАСХНИЛ. Была организована комплексная экспедиция по изучению растительности оленьих пастбищ восточноевропейских тундр. На востоке Малоземельской тундры в 1930 г. в районе Ненецкой гряды на водоразделе озера Голодная губа и р. Нерута работал отряд Ф. В. Самбука; год спустя в северо-восточной части Малоземельской тундры между Печорской и Колоколкой губой работал отряд А. И. Лескова, параллельно с ними отряд А. А. Дедова обследовал бассейны рр. Седуиха и Нерута. Результаты этих экспедиций отражены в ряде публикаций [7, 8 и др.], благодаря которым была установлена граница лесотундры и прослежена динамика ее продвижения. Полоса лесотундры охарактеризована исследователями как территория со смешанной растительностью, которая представляла собой переход от южных тундр к зоне таежных лесов. Она была ограничена, с одной стороны, типичными тундровыми сообществами с ерником, а с другой — лесными массивами. Лесные острова, заходящие в подзону южных тундр, было принято считать северной гра-

ницей для полосы лесотундры [7]. В своей работе, посвященной растительности Тиманской тундры (в последствии уточненной и изданной под редакцией Н. В. Матвеевой), А. А. Дедов подробно описал все типы растительных сообществ и определил их важнейшие экологические характеристики, опубликовал геоботанические описания с оценкой обилия для всех видов, процентом покрытия и высотой ярусов [8]. Во всех подзонах тундр А. А. Дедов выделил сообщества тундр (лишайниковые, моховые, кустарничковые), кустарников (ольховники, ивняки, ерники, заросли можжевельника), болот (торфяно-кочкарные тундры, грядово-мочажинные тундры, крупнобугристые болота, низинные (осоковые) болота), лугов (кочкарные, луговины, долинные, приморские или тампы), лесов и редколесий (сосновые, лиственничные, еловые леса и редколесья, березовые редколесья). Для каждого из сообществ он дал исчерпывающую характеристику, привел факторы формирования ценозов, определил их приуроченность к элементам ландшафта и эдафические характеристики [8]. Исследования А. А. Дедова по кормовой базе оленеводства начались в 1928 г. с Тиманской тундры [9]. Кроме того, были изданы два сборника «Оленьи пастбища Северного края». В первом из них, вышедшем в 1931 г., была опубликована статья А. А. Дедова «Оленьи пастбища Тиманской тундры», а во втором (1933 г.) — статья «Летние оленьи пастбища восточной части Малоземельской тундры» [9, 10].

В 1932 г. в г. Нарьян-Мар была организована Оленеводческая сельскохозяйственная опытная станция для разработки основ ведения хозяйства и ботанико-топографического обследования Крайнего Севера. Станция должна была проводить экспедиции и вырабатывать мероприятия по совершенствованию хозяйства, поскольку одни лишь экспедиционные исследования уже не справлялись с решением многих важных практических вопросов. В 1935 г. было решено организовать отдел оленеводства во Всесоюзном Арктическом институте. Кроме того, предполагалось значительное расширение исследовательской работы путем усиления зоотехнических работ, изучения биологии оленя и его кормовой базы. Стоит отметить, что все основные исследования оленьих пастбищ припечорских тундр с этого момента были связаны с деятельностью станции. Реформирование работы станции в г. Нарьян-Маре было проведено А. А. Дедовым. Хотя большая загруженность организационной деятельностью на станции

и отразилась на его публикационной активности, результаты работ отражены в годовых отчетах, которые до настоящего времени хранятся в архивах станции. Стоит подчеркнуть, что именно с участием А. А. Дедова значительное внимание в исследованиях стали уделять изучению тундровой растительности и пастбищ с акцентом на кормовую характеристику видов и распределению пастбищ по сезонам. В работе по летним пастбищам восточной части Малоземельской тундры А. А. Дедов [10] приводит подробный физико-географический очерк района, а также впервые для этой территории — подробные метеорологические данные, которые позволили ему обобщить информацию о климатических особенностях района исследования. Были установлены средние величины проективного покрытия для разных кормовых групп растений во всех растительных сообществах. Интересны выводы и наблюдения, к которым пришел А. А. Дедов при описании торфяно-бугристого типа тундр: 1) по окраине бугров оттаивание мерзлоты глубже, заметна разница между южными и северными краями; 2) сплошной растительный покров повышает уровень мерзлоты в буграх: в наибольшей степени ерник и морошка, в наименьшей — лишайники; 3) под кустами ерника наблюдается резкое повышение уровня мерзлоты, которое в свою очередь объясняется затенением почвы, поглощением солнечных лучей листовой поверхностью кустарника, наличием у поверхности почвы под кустами малоподвижного слоя воздуха, который менее теплопроводен, чем сам торф [10].

При описании пастбищных угодий первого Ненецкого оленеводческого колхоза и в обобщающей публикации по всем кормовым угодьям Ненецкого округа Ф. В. Самбук [11] представил важные сведения по районированию восточноевропейских тундр, детально охарактеризовал кормовые виды, дал оценку изменения растительности под воздействием выпаса домашнего оленя. В своей работе по методике маршрутного обследования тундровых пастбищ, Ф. В. Самбук [12] классифицирует основные растительные сообщества тундр, объясняет подходы к определению типа тундры, дает оценку роли микрорельефа и экологических характеристик местообитаний в формировании тундровых сообществ. Методика Ф. В. Самбука дает возможность установить кормовую значимость того или иного типа растительного сообщества на основе характеристик фитомассы и ее объема на единицу площади, позволяет выделить

наиболее предпочтительные и значимые кормовые виды. Автор впервые приводит подробное разъяснение особенностей работы исследователя-геоботаника в тундре, дает обоснование для расчета проективного покрытия, описывает динамику тундровых сообществ под воздействием многолетнего выпаса оленя, уделяя внимание ландшафтными особенностями. В частности, им предложено привязывать типы тундр к геоморфологическим районам, определяя их связь с особенностями рельефа и характеристиками субстрата [7]. Он первым обращает внимание на необходимость определения природы изменений в растительном покрове, будь то изменение состава растительного сообщества в ходе выпаса, или же в связи с естественными процессами.

Ф. В. Самбук впервые разделяет пастбища по категориям сезонности: *к зимним пастбищам* отнесены следующие типы тундр: 1) песчано-лишайниковая тундра; 2) лишайниково-кустарничковая, торфяно-лишайниковая; *к летним пастбищам*: 1) луговинная тундра; 2) мохово-пятнистая тундра; 3) дерновинная тундра; 4) злаково-дернистая тундра; 5) моренно-кочковатая тундра; 6) ивняки; 7) осочники; 8) эрозионные комплексы; 9) поемные луга; *к переходным*: 1) мочажинные комплексы; 2) ерники. Для каждого из сезонов он подготовил бонитировочные шкалы и объяснил принципиальные различия сезонности, а также важность чередования нагрузки и отдыха для пастбища [11]. Исследователь первым замечает вытеснение лишайников другими видами при перевыпасе, в частности, полное исчезновение кормовых лишайников (*Cladonia rangiferina*, *C. stellaris*) и преобладание видов цетрариевых лишайников (*Flavocetraria nivalis*) на пастбищах с многолетним интенсивным выпасом. Он подчеркивает, что растительность на некоторых субстратах наиболее подвержена вытаптыванию, отмечает появление накипных лишайников, не представляющих кормового значения на вытоптаных элементах нанорельефа.

В 1930 г. растительность и флору района, прилегающего к Болванской Губе (Вангурейская возвышенность), изучал В. Н. Андреев, который дал описание растительности пастбищ Большеземельской тундры и определил их кормовые характеристики. В. Н. Андреев, как и Ф. В. Самбук, являлся сотрудником Нарьян-Марской сельскохозяйственной станции. Он — автор трудов по геоботаническому районированию тундровой зоны, а также целого ряда работ, посвященных исследованию

пастбищ северного оленя [13—22 и др.]. Его научно-исследовательская работа, посвященная геоботаническому районированию восточно-европейской тундры, а также разработанная им методика воздушно-глазомерного обследования пастбищ (в масштабе 1: 200 000) создали основу для современных дистанционных исследований с применением беспилотных летательных аппаратов (далее — БПЛА) и анализом спутниковых снимков [16].

Помимо этого, В. Н. Андреев активно использовал в своей работе метод укусов, и одним из первых подготовил таблицы кормовых растений Субарктики с указанием запаса надземной фитомассы, проективного покрытия и высоты растений [19]. Отчетливая корреляция запасов надземной фитомассы с занимаемой площадью и высотой растительного покрова была установлена ещё Л. Г. Раменским [20]. В. Н. Андреев был не первым, кто стал изучать продуктивность фитомассы в зоне тундр, но именно ему, с привлечением материалов предшественников, удалось обобщить эти данные и подготовить обзор основных результатов исследований припечорских тундр в контексте использования пастбищ и расчета их оленеёмкости. В своей работе «Кормовые ресурсы оленеводства...» [21] он впервые дал подробную экономическую характеристику пастбищ обширной территории — от Вангурейской возвышенности до долины р. Куи и Припечорской низменности. Им подготовлены и опубликованы таблицы с подробным расчетом оленеёмкости для территорий, на которых осуществляли выпас сразу несколько оленеводческих совхозов: «Харп», «Полоха», «Кара-харбей». В. Н. Андреев впервые выполнил детальное районирование этой территории, охарактеризовал сезонные различия кормовой ценности для всех типов тундр на основе данных о проективном покрытии разных кормовых групп растений [15]. В своей работе он много внимания уделил причинам сезонной динамики в связи с климатическими изменениями, разностью субстратов и т. д. В. Н. Андреев подробно раскрыл значение понятия «оленеёмкость» и основной принцип ее определения на основе учета следующих факторов: 1) потребности одного оленя в кормовых единицах в определенный промежуток времени; 2) продолжительности периода выпаса или кормления; 3) кормовой продукции. Он подчеркивал, что недостаточно установить норму потребности оленя в кормовых единицах и кормовую продукцию пастбищ на данном отрезке времени,

необходимо рассматривать пастбища в процессе их развития и взаимодействия с выпасаемыми оленями. Еще в 1930-х годах геоботаники отмечали, что практически вся растительность тундр в той или иной степени находится под воздействием выпаса, а участки, где растительный покров не изменён, уже тогда были большой редкостью. В связи с этим В. Н. Андреев и А. А. Дедов говорили о важности изолирования определенных районов тундр от выпаса, не просто на время, а на постоянной основе для создания охраняемых природных территорий.

В. Н. Андреев выступил автором методического пособия по организации и использованию пастбищ в северном оленеводстве [19]. Пособие было рассчитано на широкий круг читателей, в нем дана краткая физико-географическая характеристика всех районов, в которых на тот момент осуществлялось оленеводство. По сезонам и типам растительности описаны все кормовые виды растений, указана их ценность для оленя. Автор сжато и четко указал основные пункты, без которых грамотное оленеводство и рациональное использование тундр невозможно: правильное сезонное использование пастбищ, сохранение системности в выпасе, правильное проведение инвентаризации на пастбищах, расчёт пастбищеоборота и непременно улучшение и оборудование пастбищ под нужды конкретных стад; в конце пособия приведена таблица с кормовыми видами.

Б. Н. Городков был одним из советских геоботаников-тундроведов, изучавших растительность припечорских тундр. С 1932 г. он возглавлял отдел геоботаники и кормов в созданном по его инициативе Институте оленеводства ВАСХНИЛ. В работе Б. Н. Городкова [23] отражены уточненные подходы к районированию пастбищ, ранее описанные у Ф. В. Самбука, ему удалось продолжить и развить тему районирования и бонитировки. Исследователь выполнил районирование всей территории тундровой зоны страны. В монографии «Растительность тундровой зоны СССР», Б. Н. Городков особое внимание уделил связям между распределением многолетнемерзлых пород и почвенно-растительным покровом [24]. Несмотря на то, что работы Б. Н. Городкова, посвященные изучению растительности оленьих пастбищ, не столь многочисленны, как работы В. Н. Андреева или Ф. В. Самбука, они сыграли большую роль в решении вопросов их рационального использования.

Огромный вклад в изучение растительности припечорских тундр и пастбищ внес Г. И. Карев, оценивший их кормовые характеристики на территории Ненецкого АО (далее НАО). Он, также как В. Н. Андреев и Ф. В. Самбук, был сотрудником Нарьян-Марской сельскохозяйственной станции. В архивах станции сохранилось множество отчетов, рукописей и большой личный архив Г. И. Карева. Исследователь большое внимание уделял изучению роли лишайников в рационе северного оленя. Он детально изучил виды кормовых лишайников, их прирост и влагоемкость. Под руководством Г. И. Карева было проведено множество экспериментов с применением ростовых веществ для ускорения роста кустистых лишайников. В ходе экспериментов было выяснено, что ни одно из удобрений, кроме хлористого калия, не стимулировало рост и развитие лишайников, напротив, они действовали в целом негативно. При изучении влагоёмкости лишайников исследователем было отмечено, что им необходимо именно достаточное увлажнение, поскольку избыточное негативно отражается на состоянии нижней части таллома лишайника, вызывая ее гниение. При заболачивании тундр кормовые виды лишайников постепенно гибнут, а при иссушении тундры таллом лишайников становится очень хрупким и легко ломается. В периоды достаточного увлажнения лишайники чувствуют себя наиболее комфортно, более интенсивно растут и поглощают углекислый газ. Г. И. Карев детализировал сезонное районирование пастбищ. Он разделил, в частности, весенний сезон на ранневесенний (период отела), для которого выделил наиболее подходящие для выпаса типы тундр, и поздневесенний, который определил как время перехода на летние зелёные пастбища. В его отчетах уделяется внимание определению периодов отдыха пастбищ (на основе характера лишайникового покрова), которые различны для тундровой, лесотундровой и таежной зон. Впоследствии, с наращиванием производства, Г. И. Кареву приходилось регулярно пересчитывать и обновлять данные по пастбищам, делать перерасчёты для укрупнённых стад. В 1956 г. вышла его работа «Корма и пастбища северного оленя» под редакцией В. Н. Андреева [25].

В работе Нарьян-Марской сельскохозяйственной станции принимал участие советский геоботаник В. В. Уткин. В архивах станции сохранились детальные отчеты, позволяющие оценить значимость его вклада в изучение оленьих пастбищ. Спустя более чем 40 лет этот исследователь решил

повторить маршрут А. А. Дедова, совершенный в 1930 г. по Малоземельской тундре [26], обосновав необходимость повторных исследований изменением состояния растительных сообществ пастбищ разных категорий за прошедшие десятилетия. Цель состояла в изучении процессов, происходящих в растительном покрове и обогащении пастбищ новыми, более ценными, в кормовом отношении, видами. Группа исследователей прошла по маршруту экспедиции 1930 г. и провела более детальное обследование всех летних и осенних пастбищ в восточном районе Малоземельской тундры. Работа базировалась на материалах, полученных в ходе наземного геоботанического маршрута, при сравнении были использованы контуры, выделенные ранее на основе аэровизуальных методов. Сотрудниками экспедиции под руководством В. В. Уткина были обследованы 74 геоботанических контура на площади более 50 тыс. га. Были составлены две карты-схемы растительности пастбищ обследованного района [26], одна по данным 1953 г., а вторая — по данным 1974 г.

Сравнительный анализ показал, что проективное покрытие лишайников снизилось наполовину (47.4%), плотность лишайникового покрова внутри контура также упала на 18.2%. Меньше всего плотность лишайникового покрова снизилась на поздневесенних пастбищах, а в наибольшей степени — на раннеосенних. Высота живой части лишайников больше всего снизилась на поздневесенних пастбищах, где она первоначально составляла 2.3 см, а спустя 20 лет — 1.5 см. В отчете авторы отметили, что в некоторых районах происходят процессы «отравливания» тундры, которые отчасти компенсируют падение запасов лишайниковых кормов за счет появления ценных в кормовом отношении зеленых растений. По результатам исследования В. В. Уткиным и его коллегами было принято решение ввести обязательный трехлетний пастбищеоборот [27].

В своих работах В. В. Уткин [27, 28] выделяет проблему зарастания зимних оленьих пастбищ на припечорских песках на фоне многолетнего выпаса. За первоначальные данные были взяты 19 геоботанических описаний Ф. В. Самбука [29]. Последний различал условно пять стадий зарастания песков, где прежде размещалась часть зимних пастбищ: 1-я стадия — надвигание кустарников на открытые пески, подготовка субстрата к появлению мхов, лишайников и высших растений; 2-я стадия — сплошной покров мхов (*Polytrichum piliferum*) и появление лишайников; 3-я стадия — сомкнутый

покров из березы (*Betula tortuosa*); 4-я стадия — кустарничковая (*Empetrum*, *Arctous*, *Loiseleuria*) с выпадением лишайников; 5-я стадия — на кустарничковый и лишайниковый покров надвигаются *Betula nana* и *B. tortuosa*. По результатам повторных описаний В. В. Уткин пришел к выводу, что видовой состав претерпел значительные изменения, половина открытого песчаного субстрата стала зарастать лишайниками, разнотравьем и злаками. При этом лишайниково-моховый покров сменился покровом с преобладанием *Festuca ovina* и участием кустарников. Исследователь пишет, что несмотря на длительный выпас, в обследованном районе в окрестностях г. Нарьян-Мар кормовые запасы возросли в связи с повышением покрытия лишайникового и травяно-кустарничкового покрова. Интересно предположение В. В. Уткина о том, что злаково-кустарничковая фаза может перейти в фазу кустарниковую, характеризующуюся слабым оподзоливанием почвы [28].

Одна из фундаментальных работ по кормовым ресурсам Арктики принадлежит В. Д. Александровой. Под её редакцией в 1940 г. в Трудах Института Полярного земледелия вышла статья «Кормовая характеристика растений Крайнего Севера» [30], впоследствии доработанная и вышедшая с дополнениями в 1964 г. Эта работа представляет собой крупнейшую сводку по видам ресурсных растений, произрастающих на советском севере. Она является важнейшим этапом в изучении растительности северных территорий: приведенные в ней данные до настоящего времени сохраняют актуальность для исследователей.

В связи с геоботаническими исследованиями тундр следует отметить важные результаты, полученные И. Д. Богдановской-Гиенэф. Несмотря на то, что она не работала в районе припечорских тундр, её работы по растительности о-ва Колгуев (Баренцево море) [31, 32] имели большое значение для исследований сотрудников Лаборатории Крайнего Севера Ботанического института им. В. Л. Комарова АН СССР. И. Д. Богдановской-Гиенэф была подготовлена схематическая карта растительности острова, на которой она выделила 8 геоботанических районов, различающихся соотношением формаций или их классов и имеющих разное пастбищное значение, определила запасы фитомассы лишайников и зеленых растений в растительных ассоциациях и рассчитала оленеёмкость пастбищ всех сезонов выпаса. Впоследствии, И. А. Лавриненко, О. В. Лавриненко, С. С. Холод, С. А. Уваров, работавшие в этом районе, включали в обработку

не только геоботанические описания, выполненные И. Д. Богдановской-Гиенэф, но и учитывали её районирование острова при картографировании растительности пастбищ на основе дешифрирования материалов спутниковых снимков [33—35].

ИЗУЧЕНИЕ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ПАСТБИЩ В ЗАРУБЕЖНЫХ СТРАНАХ В XX ВЕКЕ (США, КАНАДА, НОРВЕГИЯ, ФИНЛЯНДИЯ, ШВЕЦИЯ)

Значительный вклад в изучение растительности пастбищ в XX в. внесли исследователи-геоботаники ряда зарубежных стран. Следует отметить, что особенности выпаса оленей и подходы к изучению растительности в этих странах, значительно отличаются от описанных выше, что делает затруднительным сравнение их данных с результатами исследований пастбищ восточноевропейских тундр. Так, в США олени породы карибу обитают на территории Аляски, где, по сравнению с Россией, площадь пастбищ невелика. Исследования на Аляске проводились в начале XX в., в частности, Л. Палмером [36] были рассмотрены основные подходы в оленеводстве с конца XIX в. до начала XX в. Автор охарактеризовал распределение кормовых видов растений по сезонам (в том числе с детальной инвентаризацией лишайников), а также упомянул влияние климатических изменений на состояние пастбищ. Он провел ряд экспериментов по изменению состава кормов оленя карибу, а также изучал динамику растительного покрова пастбищ, уделяя при этом особое внимание лишайниковым пастбищам. Позднее вышла работа J. G. Dickson [37] о кормовых растениях и почвах пастбищ на юге Аляски.

R. E. Pegau [38] занимался изучением изменения состояния лишайникового покрова при различных вариантах использования территорий пастбищ, а также выявлением наиболее предпочтительных для карибу видов лишайников. Кроме этого, исследователь уделял внимание особенностям восстановления лишайников после выпаса и вытаптывания. Ссылаясь на В. Н. Андреева, и свои предыдущие работы, R. E. Pegau замечает, что для кустистых лишайников рода *Cladonia* средний ежегодный прирост составляет около 5 мм, и для полного восстановления лишайникам необходимо по меньшей мере 10 лет [39].

В Канаде в 1920-х гг. была проведена экспедиция под названием The Great Canadian Reindeer Project, поскольку в этот период отмечалась очень

низкая численность карибу. По результатам работ было принято решение о переводе нескольких тысяч особей оленей карибу с территории Аляски. В 1926 г., по поручению канадского правительства, датский ботаник А. Е. Porsild исследовал растительность западной части канадской Арктики в поисках оптимальных территорий с наиболее подходящими пастбищами для дальнейшего разведения оленя карибу. Его выбор пал на дельту реки Маккензи, растительный покров которой был описан в его трудах [40, 41].

Изучение растительности пастбищ северного оленя проводили и в скандинавских странах (Финляндия, Норвегия, Швеция). В 1932 г. вышла работа W. Leach, в которой были представлены результаты изучения растительности пастбищ Лапландии на территории Финляндии, Швеции и Норвегии. Исследуемая территория была разделена на несколько районов, подготовлены списки видов лишайников, мхов и сосудистых растений для разных типов растительности, приведены подробные экологические характеристики местообитаний [42].

В книге F. Skuncke [43], которая до настоящего времени не теряет актуальности, систематизированы и охарактеризованы подходы к ведению оленеводства в Швеции, приведены описания оленьих пастбищ по сезонам и типам ландшафтов. Эта комплексная работа, затрагивающая все аспекты оленеводства, стала одной из главных классических монографий по данной теме на английском языке, на которую традиционно ссылаются многие зарубежные исследователи.

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ И МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ПАСТБИЩ

В настоящее время изучением растительности оленьих пастбищ севера России и, в частности, припечорских тундр, занимаются многие исследователи, но преимущественно в рамках работ по Договорам с нефтегазодобывающими компаниями, другими землепользователями и администрациями субъектов РФ. К сожалению, вследствие ограниченных сроков выполнения проектов и недостатка времени для серьезного анализа данных, результаты этих работ часто не могут быть основой полноценных научных публикаций. Кроме этого, следует учитывать удаленность и труднодоступность многих арктических территорий, где развито оленеводство, и необходимость

значительных финансовых затрат на проведение длительных полевых работ. По-видимому, это основные причины относительно небольшого числа публикаций по растительности оленьих пастбищ за последние десятилетия, по сравнению с обилием работ 1930—1960-х гг.

Вместе с тем, нужно отметить значительное разнообразие современных подходов к изучению растительного покрова оленьих пастбищ. В обзоре финских коллег [44] отражены исследования со статистической обработкой материалов, опубликованные в период 1995—2015 гг. Обзор позволяет ознакомиться с основными методиками и направлениями исследований по оценке влияния выпаса северного оленя на динамику растительного покрова. В обзор включены публикации на семи языках (английский, финский, шведский, датский, норвежский, немецкий и русский). Авторы анализировали следующие параметры: высоту над уровнем моря; среднегодовую температуру; среднегодовое количество осадков; влажность почвы (сухая/мезогенная/влажная); тип почвы/коренных пород; тип растительности; подвид северного оленя; сезонность выпаса северных оленей; статус одомашнивания северного оленя; контроль присутствия и видовой принадлежности других травоядных животных (для мелких травоядных животных с использованием соответствующих ограждений); историю стада (например, аборигенного или интродуцированного); структуру исследования и обработку данных; сроки и сезонность проведения исследований. После обработки и анализа данных выборки авторы статьи пришли к следующим выводам: 1) несмотря на актуальность направления исследований, публикаций по данной теме по-прежнему очень мало, и данных недостаточно для того, чтобы составить более или менее полное представление о воздействии выпаса северного оленя на тундры в циркумполярном масштабе; 2) результаты часто зависят от цели и задач исследования. Локальные изменения в растительном покрове, зависящие от определенных экологических условий, очень часто невозможно соотнести с изменениями, происходящими на других арктических территориях. Для эффективного использования растительности пастбищ следует ориентироваться, в первую очередь, на типологию и продуктивность растительности территории, а также на историю выпаса. Ценность данной публикации заключается, в первую очередь, в довольно большой выборке данных, проанализированных и обобщенных,

представленных в графиках и таблицах, позволяющих сравнить их в дальнейшем с результатами других исследований.

При картографировании растительного покрова лидирующие позиции в настоящее время занимают работы с использованием данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и дешифрирования спутниковых снимков [45—47]. С помощью анализа серий спутниковых снимков можно не только проследить тренды в изменении растительного покрова пастбищ за определенный временной период, но и прогнозировать дальнейшие изменения с учетом динамики запасов фитомассы и оленёжности для определенной территории. Широкое распространение такого подхода обусловлено, прежде всего, труднодоступностью и обширностью площадей пастбищ и отсутствием возможности выполнения геоботанических описаний на всех участках обследуемой территории. Кроме того, возросла доступность мультиспектральных спутниковых снимков, прежде всего Landsat и Sentinel.

Напомним, что первым обосновал и разработал методику аэровизуального обследования пастбищ В. Н. Андреев [16]. Она состояла в том, что с вертолета проводили оценку состояния пастбищ, а затем, на основе полученных данных, рассчитывали пастбищеоборот. Эта методика получила дальнейшее развитие в современных исследованиях пастбищ с помощью анализа материалов спутниковых снимков и беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) [33, 34 и др.].

В конце 1970-х — начале 1980-х гг., с появлением снимков высокого разрешения со спутника Landsat в открытом доступе, появились первые публикации, посвященные дистанционному изучению оленьих пастбищ [49—54]. А. Colpaert и J. Kumpula [46] описали несомненные преимущества использования ДЗЗ для изучения пастбищ северного оленя в Финляндии. Все финские пастбища были отнесены к 57 районам. К моменту начала этой работы возникла проблема недостатка лишайников в районах зимнего сезона выпаса. При помощи снимков высокого разрешения Landsat 5 TM группа исследователей провела инвентаризацию состояния пастбищ всей территории и классификацию растительности; полученные материалы сравнили с полевыми данными. В результате была зарегистрирована деградация пастбищ в шести из семи районов выпаса зимнего сезона. Использование ГИС и спутниковых снимков позволило выполнить работу быстро

и эффективно, а полученные результаты помогли перераспределить нагрузку на пастбища и оценить их качество. Впоследствии применение ДЗЗ становится всё более востребованным [48], в том числе и среди российских исследователей. В. В. Елсаков [52, 53] в работах по ресурсной оценке пастбищ при помощи обработки данных ДЗЗ (2018—2019) продемонстрировал возможности оперативной инвентаризации пастбищ, подготовки проектов землепользования, создания ресурсных геоботанических карт с количественными характеристиками запаса отдельных кормовых групп (в частности, лишайниковых и зеленых кормов). Автор подчеркнул, что преимущество использования спутниковых снимков состоит, в первую очередь, в объективизации данных и значительно меньшей финансовой нагрузке. Кроме того, автором предложено на основе материалов ДЗЗ проводить мониторинговые наблюдения за состоянием пастбищ северного оленя. Полученные данные могут быть использованы для составления проектов землепользования оленеводческих хозяйств с учетом сезонных и годовичных различий погодных условий. Конечно, при всех достоинствах данного подхода в отношении зеленых пастбищ, стоит отметить и его явные недостатки, заключающиеся в сложности обработки данных по лишайниковым пастбищам, которые должны быть проверены наземными методами.

Группа исследователей из Канады на основе полевых данных разработала модель для вычисления долговременных изменений в лишайниковом покрове и их воздействия на местного оленя карibu [54]. Полученные данные авторы исследования экстраполировали на территорию площадью более 700 000 км². На основании этих данных были спрогнозированы изменения в лишайниковом покрове и кормовой базе оленя на несколько десятков лет вперед. Авторы работы подчеркивают важность сбора полевых данных, и, в случае отсутствия таковых, отмечают сложность перехода от индексов, используемых в данном исследовании (Normalized Differenced Lichen Index и Normalized Difference Moisture Index), к конкретным оценкам состояния лишайникового покрова.

В настоящее время в открытом доступе имеется актуальная карта [55], отражающая распределение территорий Ненецкого АО, занятых оленеводческими хозяйствами. На ней можно видеть, что районов, не занятых пастбищами, на нынешний день в Ненецком АО почти не осталось. В работах О. В. Лавриненко и И. А. Лавриненко

по пастбищам северного оленя на о. Колгуев [33, 34] в основу инвентаризации растительности положена фитосоциологическая классификация по методу Браун-Бланке, показана значимость корректной классификации растительных сообществ при дешифрировании спутниковых снимков для картографирования растительности по данным ДЗЗ. Оленьи пастбища любого сезона сложены комбинацией сообществ разной синтаксономической принадлежности. В связи с этим, наряду с важностью изучения видового состава растительных сообществ и оценки участия видов, значимых в кормовом отношении, принципиально значимой также является классификация растительности пастбищ разных сезонов. Так, эколого-флористическая классификация, в основе которой лежит информация о полном видовом составе и обилии видов (в том числе доминантных) в пределах сообществ, дает возможность рассматривать все многообразие оленьих пастбищ любых сезонов в качестве комбинаций сообществ разных синтаксонов. Сообщества каждого из них отличаются биологическими и хозяйственными характеристиками (продуктивностью, экологией, чувствительностью к внешним факторам, темпами восстановления после выпаса и другими). И задача геоботаника — после выполнения описаний, разработать классификацию растительности, оценить долю сообществ каждого синтаксона в пределах пастбищ определенного сезона, и, на основании этого, рассчитать кормовые характеристики выдела.

Учитывая, что продуктивность относится к важнейшим характеристикам пастбищ, представляет большой интерес изучение связи этого показателя с их синтаксономическим составом. С. А. Уваровым с коллегами были выполнены геоботанические описания и проведен отбор фитомассы в сообществах 10 районов восточно-европейских тундр, расположенных в подзонах арктических, типичных, южных тундр и в северной лесотундре [56]. Надземная фитомасса была отобрана с 74 пробных площадок, которые были отнесены к семи ассоциациям (включая четыре субассоциации) и трём типам сообществ из четырех классов растительности. Результаты исследований показали выраженные различия в запасах фитомассы лишайников, мхов и зеленых частей сосудистых растений для сообществ разных синтаксонов, установленных в традициях фитосоциологической классификации. В работе приведены продромус растительности и таблица

распределения надземной фитомассы сообществ разных синтаксонов с графиками, отражающими различия между ними, а также средние максимальные и минимальные значения фитомассы для всех описанных сообществ. В этой работе продемонстрирована важность классификации растительности и синтаксономического анализа, позволяющего оценить различия в запасах фитомассы как в ненарушенных сообществах, так и в трансформированных под воздействием выпаса. Отмечено изменение запасов фитомассы на широтном градиенте в ценозах разных синтаксонов, приуроченных к различным местообитаниям. Стоит отметить, что при исследовании пастбищ северного оленя, используются разные классификации, как основанная на эколого-физиономическом принципе (она же эколого-фитоценотическая или доминантно-детерминантная классификация), так и эколого-флористическая классификация.

В ряде зарубежных публикаций [57, 58] были использованы разные методы расчёта запаса надземной фитомассы, как полевые, так и дистанционные. При выполнении полевых работ методические подходы различаются незначительно. На пробных площадках (чаще всего 50×50 см, 1×1 м) определяется покрытие видов в процентах и средняя высота покрова лишайников и сосудистых растений; в работах некоторых исследователей (советских и российских) для лишайников отмечается годичный прирост по коленам талломов [58]. После этого вся надземная фитомасса делится по фракциям: травы, кустарники, кустарнички, лишайники и мхи, в некоторых случаях выделяются кормовые и не кормовые виды.

На полуострове Ямал был изучен годовой прирост отдельных видов лишайников рода *Cladonia* [59]. Авторы отмечают, что на зональном градиенте наименьшие значения прироста изученных видов зарегистрированы в сообществах южных субарктических тундр. Факторами среды, оказывающими положительное влияние на рост лишайников, являются сомкнутость кустарникового яруса в сообществах южных тундр и толщина мохово-лишайникового покрова в сообществах северных тундр. Наиболее стабильный параметр — возраст живой части талломов.

Наряду с исследованием растительного покрова зимних лишайниковых пастбищ, активно изучаются запасы зеленых кормовых ресурсов. Один из современных подходов для их изучения

при помощи спутниковых данных — метод индекса зеленой массы, который используется для оценки питательной ценности растительности. Этот индекс (Green Mass Index, GMI) рассчитывается на основе количества зеленой фитомассы на единицу площади. Методика определения GMI включает в себя использование спутниковых данных и дополнительные наземные исследования растительности и почв [60].

К методам работы с данными ДЗЗ можно отнести мультиспектральную фотометрию, с помощью которой проводят измерение ряда параметров растительности (площадь листовой поверхности, фитомасса и структура растительного покрова). С этой целью используют специальные датчики, которые измеряют отражение электромагнитного излучения от растительного объекта в разных спектральных диапазонах, включая видимый и ближний инфракрасный спектр [61]. Исследователи из Финляндии [62] провели спектральный анализ и описали спектры для 12 бореальных видов лишайников. Измерения спектров отражения проводили в лабораторных условиях с помощью стандартного спектрорадиометра (350—2500 нм) и мобильной гиперспектральной камеры (400—1000 нм). Обнаружены значительные межвидовые различия в отражающих способностях разных видов лишайников.

В настоящее время вопросы изменения состава и структуры растительного покрова вследствие интенсивного выпаса находятся в центре внимания исследователей. В одной из работ была поставлена цель — на основании спутниковых снимков проследить миграцию крупных домашних стад оленей с помощью GPS-трекеров, и оценить интенсивность влияния выпаса на трансформацию экосистем в Арктике на территории 67 000 км² [63]. При использовании ГИС-инструментов и индекса VSI (Vegetation Sensitivity Index), который отражает чувствительность растительности к климатическим изменениям на региональном уровне, ученые пришли к выводу, что в местах с интенсивным выпасом (июньский период) олени больше всего употребляют в пищу низкорослые кустарники, численность которых сокращается.

В работе Д. В. Веселкина с соавторами [64] была установлена тесная отрицательная связь между показателем NDVI (нормализованный относительный индекс растительности) и численностью оленей на п-ове Ямал, что свидетельствует о том, что в настоящее время поголовье домашнего се-

верного оленя является важнейшим фактором, определяющим состояние растительного покрова в южной части полуострова. На основе полевых исследований, которые включали отбор надземной фитомассы, было установлено снижение доли кормовых видов кустарников, лишайников и трав, и четырехкратное увеличение доли кустарничков на участках, деградировавших после выпаса [65, 66]. Сравнение показателей кормовых запасов на двух ключевых участках на юге п-ова Ямал, рассчитанных В. Н. Андреевым в 1932 г., с данными полевых сезонов 2017—2019 гг., выявило следующие тренды: делихенизация, снижение абсолютной массы кормовых лишайников и их участия в растительном покрове, снижение общих запасов лишайниковых кормов в пять раз. Изменение растительного покрова авторы связывали прежде всего с интенсивным выпасом. Стоит отметить, что необходимо с осторожностью относиться к сравнению результатов современных полевых исследований с данными, полученными в 1932 г. Это связано с возможными ошибками при идентификации мест проведения полевых исследований В. Н. Андреевым, что впоследствии может привести к затруднениям в интерпретации данных.

Для прогноза краткосрочного и долгосрочного влияния выпаса оленей на величину надземной фитомассы используют как сравнение архивных и актуальных данных ДЗЗ [47], так и регулярные измерения этого показателя в полевых условиях через определенные промежутки времени [67]. В последние два десятилетия активно используется метод исключения влияния выпаса оленей, который описан исследователями в Финляндии и Норвегии, а также на территории России [67, 68]. В основе метода лежит сооружение заграждений, изолирующих небольшие площадки (5×5 м, 10×10 м), на которых выпас прекращается. Им соответствуют контрольные площадки, на которых выпас сохраняется, а также площадки, на которых выпас оленей никогда не проводили. Такой подход позволяет отследить изменения в растительном покрове пастбищ и определить основные тренды динамики растительности за большие промежутки времени, используя в том числе спутниковые снимки и регулярную фотосъемку площадок с БПЛА в разные сезоны и годы. В одном из подобных исследований [67] описаны последствия выпаса разной длительности (50 лет и 4 года) на пастбищах с водно-болотной растительностью субарктической тундры на территории вдоль

границы Финляндии и Норвегии. На финской территории проводили активный выпас в течение всего года, а на норвежской — только зимой. С использованием метода исключений авторами установлено уменьшение высоты кустарникового яруса (в частности *Salix lapponum*) с одновременным увеличением покрытия травяного яруса, для которого интенсивный выпас оказался благоприятным фактором на обоих ключевых участках. В заключении сделан вывод, что несмотря на круглогодичный выпас, в целом водно-болотная растительность на ключевом участке, находящемся в Финляндии, способна выдержать умеренную пастбищную нагрузку в течение нескольких десятилетий.

В одном из последних исследований [69] группа шведских ученых проанализировала изменения растительности на четырех огороженных от выпаса экспериментальных участках, находящихся на Аляске (США), в Норвегии и Швеции. Участки были заложены в промежутке между 1989 и 1998 гг., таким образом, их возраст составил от 20 до 30 лет. На каждом участке было выделено по восемь пробных площадок (50×50 см), на которых с помощью метода уколов (point intercept method) было измерено проективное покрытие видов. Помимо проективного покрытия для каждой пробной площадки были измерены LAI (leaf area index — индекс листовой поверхности) и NDVI, которые впоследствии были усреднены. Исходя из данных о количестве видов на каждой площадке, ученые рассчитали индекс разнообразия Симпсона. Данные с пробных площадок были обработаны с применением неметрического многомерного шкалирования и статистического анализа в программе R. Состояние растительности площадок, размещенных на пастбищах, сравнивали с площадками, на которых выпас никогда не проводили. На основании полученных данных авторы [70] установили, что в результате выпаса снизились показатели индексов LAI, NDVI и обилие сосудистых растений на всех четырех ключевых участках, независимо от интенсивности выпаса. На трех ключевых участках присутствие оленя привело к формированию мозаичности растительных сообществ, при этом их продуктивность была крайне низкой. Высота некоторых видов сосудистых растений изменилась после выпаса большого стада; выпас небольших стад увеличивал разнообразие видов сосудистых растений вследствие снижения обилия доминантов, что позволяло другим видам увеличивать свое участие. По аналогичной ме-

тодике была проведена работа группой финских ученых [71], которые изучали воздействие выпаса северного оленя на растительность в Финляндии и Норвегии. Авторы предположили, что выпас может препятствовать закустариванию тундры. В работе изучали изменения в растительных сообществах с *Salix lapponum* на границе Финляндии и Норвегии, сравнивали структуру сообществ, обилие видов и характеристики *S. lapponum* на пастбищных болотах (Финляндия), экспериментальных участках, исключенных из выпаса на 13 лет (Финляндия), а также в аналогичных болотных сообществах, которые не были затронуты выпасом (Норвегия). Заращение кустарниками изучали с использованием NDVI и LAI. Установлено отсутствие какого-либо единообразного тренда в изменении растительности и достоверных различий в величинах использованных индексов. В то же время, были получены важные результаты по общему обилию групп видов сосудистых растений и выявлены изменения характеристик *S. lapponum*. Авторы отмечают, что выпас северных оленей может влиять на распространение ивняков и на общую численность отдельных групп видов сосудистых растений. Установлено также снижение обилия, высоты, интенсивности цветения *S. lapponum* и увеличение концентрации азота в листьях этого вида.

Исследователи из Финляндии и Эстонии с помощью мультиспектральной съемки БПЛА и RGB (red, green and blue) модели проследили, как разные способы выпаса отражаются на распространении *Salix lapponum* на территории Финляндии и Норвегии [72]. Исследованная часть территории Норвегии используется исключительно для зимнего выпаса, в то время как на исследованной части Финляндии осуществляется поздневесенний и летний выпас. На основе построенной модели исследователи проследили распространение *S. lapponum* и установили её угнетенность на территории с весенним и летним выпасом, в то время как на территории с зимним выпасом возросло участие *S. lapponum* и увеличилась ее фитомасса. Снежный покров зимой защищает иву, к тому же зимний рацион оленя в основном состоит из кладониевых лишайников, а в весенний и летний период олень активнее использует зеленые корма, что отражается на фитомассе *S. lapponum* на финской территории.

М. Petit Bonn с соавторами [73] в своём исследовании на о-ве Шпицберген при помощи камер измеряли показатели поглощения CO_2 листьями

растений в период светлого и темного времени суток (во время пика вегетации на двух участках, исключенных из выпаса). Было установлено, что исключение выпаса оленей на 21 год привело к заметному увеличению общей фитомассы, запаса углерода и азота в листьях растений, а также высоты мохового покрова.

В последнее время особое внимание уделяется изучению влияния климатических изменений на территории Арктики на динамику растительного покрова оленьих пастбищ [73, 74]. Ученые выявили климатические изменения, которые заключаются в эпизодических повышении температур и количества осадков, и, в свою очередь, вызывают изменения экологических условий в Арктике. Основной проблемой при изучении трендов многолетней динамики растительности в Арктике до настоящего времени является выяснение причин трансформации растительного покрова: в какой степени наблюдаемые изменения связаны с климатическими факторами, в какой — с антропогенной нагрузкой (включая выпас оленя) [48]. Для прогноза изменений в растительном покрове Арктики используют математические модели, построенные на основе имеющихся данных и сценариев изменения растительности под влиянием разных факторов [75]. Так, в исследовании пастбищ Скандинавии и Норвегии была использована модель GLOBIO3, в которой учитывалось несколько факторов: изменения в характере природопользования, воздействие инфраструктуры, фрагментация пастбищ (разделение пастбищ, исключение территории из пастбищеоборота), климатические изменения. Модель позволяет оценивать прошлое, настоящее и будущее биоразнообразия в разных масштабах; основывается на принципах причинно-следственных связей между воздействием и состоянием биологического разнообразия; получает данные из доступной литературы с использованием метаанализа [76, 77].

В. В. Михайлов с соавторами [52] использовали несколько подходов к выбору и построению модели прогноза динамики и запаса фитомассы растительных сообществ о-ва Колгуев. Разработка и верификация модели была выполнена по данным NDVI. В работе Ф. В. Кряжемского с соавторами [78] по системному анализу биогеоценозов п-ова Ямал было выполнено имитационное моделирование воздействия крупностадного оленеводства на растительный покров. Были построены картосхемы распределения зеленых и лишайниковых кормов в районе исследования,

разработана имитационная модель динамики для зеленых и лишайниковых кормов с учетом других ключевых компонентов тундровой экосистемы (хищные птицы, другие млекопитающие, коренное население, олени, растительность). Модель была верифицирована путем сравнения с данными, зарегистрированными с 30-х годов до конца XX в.

В 2023 г. впервые был опубликован список кормовых растений, лишайников и грибов пастбищ северного оленя для территории Олукторского р-на Корякского округа. При наличии довольно больших территорий пастбищ, кормовые виды для этого района были исследованы и описаны впервые [79]. Это говорит о необходимости продолжения исследований современных пастбищ северного оленя на территории России.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обобщая историю отечественных исследований растительности пастбищ северного оленя в прошлом веке, можно выделить три основных этапа. К первому этапу можно отнести исследования растительности тундр, проводившиеся А. Шренком и Г. И. Танфильевым, включавшие районирование тундр. Ими впервые были изучены флора и ландшафты восточноевропейских тундр, заложена база для последующих исследований. Второй этап связан с исследованиями сотрудников Нарьян-Марской сельскохозяйственной станции А. А. Дедова, Ф. В. Самбука, В. Н. Андреева и Г. И. Карева, которые внесли огромный вклад в геоботаническое изучение и оценку кормовых ресурсов пастбищ северного оленя на примере Припечорских тундр. На третьем этапе, благодаря работам В. Д. Александровой, И. Д. Богдановской-Гиенэф и последним трудам В. Н. Андреева, были подготовлены детализированные карты пастбищных угодий, выполнено обобщение всех данных по ресурсным видам Крайнего Севера. Кроме того, В. Н. Андреевым впервые разработана методика воздушно-глазомерного обследования тундр.

Изучение растительности оленьих пастбищ представляет собой комплексную проблему. Важнейшей задачей таких исследований является выявление взаимосвязей биологических особенностей популяций оленя с экономической ситуацией в исследуемом регионе и традициями местных оленеводческих хозяйств. С момента начала изучения растительности пастбищ северного оленя (конец XIX в.) и до нынешнего дня геоботаники совершенствовались в подходах и методах исследований.

Как советские, так и зарубежные исследователи активно изучали кормовую базу северного оленя, разделили пастбища по типам и сезонам. Расчет таких показателей как оленеёмкость и пастбищный оборот помогали решать многие проблемы землепользования в тундре, как на протяжении XX в., так и в настоящее время. В дальнейшем стали возможными исследования пастбищ сперва на основе аэросъемки, а затем — космических снимков. Один из наиболее актуальных методов в современном исследовании пастбищ — использование данных ДЗЗ для наблюдения динамики растительного покрова и изменения ландшафта. На нынешний день эта методика стала необходимой и основополагающей при исследовании такого масштабного и комплексного объекта, как пастбища. Однако по-настоящему успешной в реализации она может стать только в комплексе с полевыми исследованиями, и как раз в этом отношении применение БПЛА на сегодняшний день играет ключевую роль в проведении полевых работ. Рассмотренные в обзоре работы российских и зарубежных исследователей отражают широкий спектр подходов и методов, которыми на нынешний день располагают современные исследователи растительности пастбищ северного оленя.

Таким образом, проблемы северного оленеводства и состояние растительности тундр как основной кормовой базы северного оленя до настоящего времени находятся в фокусе внимания современных исследователей. Восточноевропейские тундры Российской Арктики можно рассматривать как эталон равнинных тундр Европы, оптимальный по климатическим условиям и благоприятный для развития оленеводства, что подтверждается многовековой историей использования этой территории в качестве пастбищ разных сезонов,

обеспечивающих круглогодичный выпас оленьих стад. В связи с этим, стоит отметить, что те полевые методы, которые были разработаны и апробированы для этих территорий, на нынешний день зачастую сложно повторить, в первую очередь, из-за труднодоступности многих территорий. Однако развитие научно-технической базы позволяет решить эту проблему.

Следует отметить, что в настоящее время обилие выбитых вследствие перевыпаса оленей пастбищ, масштабная разработка нефтяных месторождений, строительство инфраструктуры и трубопроводов, а также колебания климата приводят к радикальным изменениям в распределении пастбищ разных сезонов по территории Ненецкого АО. В связи с этим, изучение состояния растительности разных типов оленьих пастбищ и оценка изменений, происходящих в результате выпаса, являются в настоящее время актуальными задачами, решение которых требует применения новейших подходов и методов в области геоботаники.

БЛАГОДАРНОСТИ

Автор выражает огромную благодарность И. А. Лавриненко и И. В. Лянгузовой за всестороннюю помощь, поддержку и советы при подготовке публикации; В. Ю. Нешатаевой за ценные замечания и рекомендации при критическом анализе литературы; В. В. Нешатаеву за помощь и поддержку при написании рукописи; Т. М. Романенко и сотрудникам ФГБНУ «Нарьян-Марская опытная станция» за возможность работать с архивами в библиотеке опытной станции г. Нарьян-Мара.

Работа проведена в рамках государственного задания согласно тематическому плану БИН РАН по теме № 122041100242-5.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Липски С. А.* 2018. Состояние оленьих пастбищ в Арктической зоне Российской Федерации, факторы их деградации и меры по улучшению ситуации. — Дистанционное зондирование и мониторинг земель. 62(6): 695—702.
<https://www.miigaik.ru/upload/iblock/883/88321c02615b7612ce30a233b5631ee3.pdf>
2. *Шренк А. И.* 1855. Путешествие к Северо-Востоку европейской России через тундры самоедов к северным Уральским горам, предпринятое по высочайшему повелению в 1837 году Александром Шренком: пер. с нем. яз. СПб. 665 с.
<https://www.prlib.ru/item/441230>
3. *Белозеров С. Т.* 1951. Гавриил Иванович Танфильев. М. 1928 с.
4. *Танфильев Г. И.* 1894. По тундрам тиманских самоедов летом 1892 г. СПб. 42 с.
5. *Танфильев Г. И.* 1911. Пределы лесов в Полярной России по исследованиям в тундре тиманских самоедов: С прил. сокр. дневника путешествия. Одесса. 287 с.

6. Григорьев А. А. 1924. Геология и рельеф Большеземельской тундры и связанные с ними проблемы. — Тр. Северной науч.-промысл. экспедиции. М. Вып. 22. 64 с.
7. Самбук Ф. В., Дедов А. А. 1934. Подзоны припечорских тундр. — Тр. БИН АН СССР. Сер. 3. Геоботаника. 1: 29—50.
8. Матвеева Н. В. 2006. (Рецензия) А. А. Дедов. Растительность Малоземельской и Тиманской тундр. Сыктывкар, 2006. 160 с. — Растительность России. 8: 93—95.
<https://doi.org/10.31111/vegrus/2006.08.93>
9. Дедов А. А. 1931. Олени пастбища Тиманской тундры. — В сб.: Олени пастбища Северного края. Т. I. Архангельск. С. 86—135.
10. Дедов А. А. 1933. Летние олени пастбища восточной части Малоземельской тундры. — В сб.: Олени пастбища Северного края. Т. II. Л. С. 53—119.
11. Самбук Ф. В. 1933. Пастбищные угодья первого ненецкого оленеводческого колхоза. — В сб.: Олени пастбища Северного края. Т. II. Л. С. 9—53.
12. Самбук Ф. В. 1931. Методика маршрутных исследований тундровых пастбищ. — Тр. Полярной комиссии. Л. Вып. 6. 48 с.
13. Андреев В. Н. 1931. Растительность тундры Северного Канина. — В сб.: Олени пастбища Северного края. Т. I. Архангельск. С. 5—85.
14. Андреев В. Н. 1940. Методика воздушно-глазомерного обследования оленьих пастбищ. — Тр. НИИ Полярного земледелия, животноводства и промыслового хоз-ва. Сер. Оленеводство. 12: 13—66.
15. Андреев В. Н. 1948. Корма и пастбища северных оленей. — Северное оленеводство. С. 100—157.
16. Андреев В. Н. 1952. Применение аэрометодов для геоботанического картирования и инвентаризации кормовых площадей. — Бот. журн. 37(6): 843—847.
17. Андреев В. Н. 1953. Организация использования и улучшение пастбищ в северном оленеводстве. — Докл. VI расшир. сессии Учен. совета НИИ Полярного земледелия, животноводства и промыслового хоз-ва. Т. 2. С. 27—38.
18. Андреев В. Н. 1954. Прирост кормовых лишайников и приемы его регулирования. — Тр. Бот. ин-та им. В. Л. Комарова АН СССР. Сер. 3. Геоботаника. 9: 11—74.
19. Андреев В. Н. 1957. Использование и организация пастбищ в северном оленеводстве. Тюмень. 44 с.
20. Раменский Л. Г. 1938. Введение в комплексное почвенно-геоботаническое исследование земель. М. 620 с.
21. Андреев В. Н. 1933. Кормовые ресурсы оленеводства в западной части Большеземельской тундры. — В сб.: Олени пастбища Северного края. Т. II. Л. С. 119—184.
22. Андреев В. Н. 1971. Методика учета и картирования кормовых запасов фитомассы Субарктики. — Раст. ресурсы. 7(3): 439—444.
23. Городков Б. Н. 1934. Об основаниях и методах хозяйственной классификации и бонитировки оленьих пастбищ. — Сов. ботаника. 1: 54—66.
24. Городков Б. Н. 1935. Растительность тундровой зоны СССР. Ботанич. ин-т Акад. Наук СССР. Л. 142 с.
25. Карев Г. И. 1956. Корма и пастбища северного оленя. М. 100 с.
26. Уткин В. В. 1974. Многолетние изменения оленьих пастбищ в Малоземельской и северо-западной части Большеземельской тундр. — Годовой отчет о научно-исследовательской работе за 1973 г. Рукопись. Нарьян-Мар.
27. Уткин В. В. 1975. Мероприятия по повышению продуктивности оленеводства. — Система ведения сельского и промыслового хозяйства в Ненецком национальном округе. Л. С. 40—43.
28. Уткин В. В. 1977. Об изменении растительности на лесотундровых пастбищах бассейна р. Печоры вследствие многолетнего выпаса. — В сб.: Мелиорация земель Крайнего Севера. С. 243—250.
29. Самбук Ф. В. 1931. Геоботаническая характеристика зимних оленьих пастбищ у устья р. Печоры. — В сб.: Олени пастбища Северного края. Т. I. Архангельск. С. 136—167.
30. Кормовая характеристика растений Крайнего Севера. 1964. М., Л. 484 с.
31. Богдановская-Гиенэф И. Д. 1938а. Природные условия и олени пастбища острова Колгуева. — Тр. НИИ полярного земледелия, животноводства и промыслового хоз-ва. Сер. Оленеводство. 2: 7—162.
32. Богдановская-Гиенэф И. Д. 1938б. Новые данные по флоре острова Колгуев. — Проблемы Арктики. 2: 173—178.

33. Лавриненко О. В., Лавриненко И. А. 2012. Растительные сообщества восточной части острова Колгуев. — В сб.: Материалы науч.-практ. конф. «АгроАрктика. Научное обеспечение развития агропромышленного комплекса европейского Севера России. 24–25 июля 2012 г.». Нарьян-Мар. С. 255–268.
34. Лавриненко О. В., Лавриненко И. А. 2014. Растительный покров оленьих пастбищ острова Колгуев: преемственность исследований и современные подходы. — В сб.: Тр. Междунар. науч. конф. «Ботаника: история, теория, практика (к 300-летию Ботанического ин-та им. В.Л. Комарова РАН)». СПб. С. 124–130.
35. Холод С. С., Уваров С. А. 2011. Растительные сообщества центральной части острова Колгуев. — В сб.: Материалы Всерос. науч. конф. «Отечественная геоботаника: основные вехи и перспективы», 20–24 сентября 2011 г. СПб. Т. 1. С. 285–289.
36. Palmer L. J. 1926. Progress of reindeer grazing investigations in Alaska. — U. S. Dep. Agric. Bull. No. 1423. 37 p.
37. Dickson J. G. 1956. Forage Plants, Soils and General Grazing Conditions on Umnak, Kodiak and other Areas. — Alaska Agricultural Experiment Station. 8 p.
<http://hdl.handle.net/11122/2683>
38. Pegau R. E. 1968. Growth rates of important reindeer forage lichens on the Seward Peninsula, Alaska. — Arctic. 21(4): 255–259.
<https://doi.org/10.14430/arctic3268>
39. Pegau R. E. 1970. Effect of reindeer trampling and grazing on lichens. — Journal of Range Management. 23(2): 95–97.
<https://doi.org/10.2307/3896107>
40. Porsild A. E. 1943. Materials for a flora of the continental Northwest Territories of Canada. — Sargentia. 4: 1–79.
<https://www.biodiversitylibrary.org/page/61506719>
41. Porsild A. E. 1945. The alpine flora of the East Slope of Mackenzie Mountains, Northwest Territories. — Nat. Mus. Can. Bull. 101. Biol. Series No. 30. 35 p.
42. Gates R. R. 1928. Notes on the tundra of Russian Lapland. — J. Ecol. 16: 150–160.
https://archive.org/download/in.ernet.dli.2015.25348/2015.25348.The-Journal-Of-Ecology-Vol-xvi-1928_text.pdf
43. Skuncke F. 1969. Reindeer ecology and management in Sweden. — Biol. Pap. Univ. Alaska. 8. 182 p.
<https://scholarworks.alaska.edu/handle/11122/1430>
44. Bernes C., Bråthen K. A., Forbes B. C., Speed J. D. M., Moen J. 2015. What are the impacts of reindeer/caribou (*Rangifer tarandus* L.) on arctic and alpine vegetation? A systematic review protocol. — Environ. Evid. 4: 4.
<https://doi.org/10.1186/s13750-014-0030-3>
45. Colpaert A. 1993. Land use mapping with Landsat 5 TM imagery: a case study from Hailuoto, Finland. — Fennia. 171(1): 1–23.
<https://fennia.journal.fi/article/view/8869>
46. Colpaert A., Kumpula J. 2012. Detecting changes in the state of reindeer pastures in northernmost Finland, 1995–2005. — Polar Record. 48(1): 74–82
<https://doi.org/10.1017/S0032247411000581>
47. Colpaert A., Kumpula J., Nieminen M. 2003. Reindeer pasture biomass assessment using satellite remote sensing. — Arctic. 56(2): 147–158.
<http://www.jstor.org/stable/40513049>
48. Tømmervik H., Høgda K. A., Solheim I. 2003. Monitoring vegetation changes in Pasvik (Norway) and Pechenga in Kola Peninsula (Russia) using multitemporal Landsat MSS/TM data. — Remote Sens. Environ. 85: 370–388.
[https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(03\)00014-2](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(03)00014-2)
49. Леменкова П. 2015. Спутниковое картографирование заболоченных ландшафтов тундры с помощью IL-WIS GIS. — В сб.: Актуальные проблемы состояния и рационального использования водных ресурсов. Матер. рег. научн.-практ. конф. Йошкар-Ола. С. 110–113.
<https://ssrn.com/abstract=3321064>
50. Полежаев А. В. 2013. Растительность севера Дальнего Востока России в картографических моделях. — Геоботаническое картографирование. 48–67.
<https://doi.org/10.31111/geobotmap/2013.48>
51. Михайлов В. В., Снесивцев А. В., Соболевский В. А., Карташева Н. К., Лавриненко И. А., Лавриненко О. В., Снесивцева В. А. 2021. Многомодельное оценивание динамики фитомассы растительных сообществ тундры на основе спутниковых снимков. — Исследование Земли из космоса. 2: 15–30.
<https://doi.org/10.31857/S0205961421020056>

52. *Елсаков В. В., Морозова Л. М.* 2018. Спутниковые технологии в исследованиях растительного покрова оленьих пастбищ п-ова Ямал. — Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа. 4(101): 21—23.
<https://elibrary.ru/item.asp?id=41332088>
53. *Елсаков В. В., Щанов В. М.* 2019. Современные изменения растительного покрова пастбищ северного оленя Тиманской тундры по результатам анализа данных спутниковой съёмки. — Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 16(2): 128—142.
<https://doi.org/10.21046/2070-7401-2019-16-2-128-142>
54. *Rickbeil G. J. M., Hermosilla T., Coops N. C., White J. C., Wulder M. A.* 2017. Estimating changes in lichen mat volume through time and related effects on barren ground caribou (*Rangifer tarandus groenlandicus*) movement. — PLoS ONE 12(3): e0172669.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0172669>
55. Геоинформационная система Ненецкого АО (ГИС НАО): <https://gisnao.ru>
56. *Уваров С. А., Лапина А. М., Лавриненко О. В.* 2021. Фитомасса лишайников и зеленых растений в сообществах восточноевропейских тундр. — Раст. ресурсы. 57(1): 15—38.
<https://doi.org/10.31857/S0033994621010118>
57. *Bråthen K. A., Ims R. A., Yoccoz N. G., Fauchald P., Tveraa T., Hausner V. H.* 2007. Induced Shift in Ecosystem Productivity? Extensive scale effects of abundant large herbivores. — Ecosystems. 10(5): 773—789.
<https://doi.org/10.1007/s10021-007-9058-3>
58. *Odland A., Sandvik S. M., Bjerketvedt D. K., Myrvold L. L.* 2014. Estimation of lichen biomass with emphasis on reindeer winter pastures at Hardangervidda, S Norway. — Rangifer. 34(1): 95—110.
<https://doi.org/10.7557/2.34.1.2852>
59. *Абдулманова С. Ю., Эктова С. Н.* 2015. Ростовые процессы некоторых видов кустисто-разветвленных лишайников рода *Cladonia* (Cladoniaceae) в тундровых сообществах. — Раст. ресурсы. 51(3): 344—356.
<https://doi.org/10.31857/S0033994620030085>
60. *Bhatt U., Walker D. A., Raynolds M. K., Comiso J. C., Epstein H. E., Jia G. J., Gens R., Jorge E., Pinzon J. E., Tucker C. J., Tweedie C. E., Webber P. J.* 2010. Circumpolar Arctic tundra vegetation change is linked to sea ice decline. — Earth Interactions. 14(8): 1—20.
<https://doi.org/10.1175/2010EI315.1>
61. *Sundqvist M. K., Moen J., Björk R. G., Vowles T., Kytöviita M.-M., Parsons M. A., Olofsson J.* 2019. Experimental evidence of the long-term effects of reindeer on Arctic vegetation greenness and species richness at a larger landscape scale. — J. Ecol. 107(6): 2724—2736.
<https://doi.org/10.1111/1365-2745.13201>
62. *Kuusinen N., Juola J., Karki B., Stenroos S., Rautiainen M.* 2020. A spectral analysis of common boreal ground lichen species. — Remote Sens. Environ. 247: 111955.
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111955>
63. *Spiegel M. P., Volkovitskiy A., Terekhina A., Forbes B. C., Park T., Macias-Fauria M.* 2023. Top-down regulation by a reindeer herding system limits climate-driven Arctic vegetation change at a regional scale. — Earth's Future. 11(7): 1—15.
<https://doi.org/10.1029/2022EF003407>
64. *Веселкин Д. В., Морозова Л. М., Горбунова А. М.* 2021. Снижение значений NDVI в южных тундрах Ямала в 2001—2018 гг. коррелирует с численностью домашних северных оленей. — Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 18(2): 143—155.
<https://doi.org/10.21046/2070-7401-2021-18-2-143-155>
65. *Горбунова А. М.* 2021. Изменение кормовых запасов оленьих пастбищ в южных субарктических тундрах Ямала. — Аграрный вестник Урала. 02(205): 26—32.
<https://doi.org/10.32417/1997-4868-2021-205-02-26-32>
66. *Горбунова А. М., Горбунов Л. С., Веселкин Д. В.* 2023. Изменение запасов зелёных и лишайниковых кормов в сообществах южных тундр Ямала с 1930-х гг. по 2017—2019 гг. — Экология. 54(2): 83—91.
<https://elibrary.ru/item.asp?id=50502138>
67. *Kitti H., Forbes B. C., Oksanen J.* 2008. Long- and short-term effects of reindeer grazing on tundra wetland vegetation — Polar Biol. 32(2): 253—261.
<https://doi.org/10.1007/s00300-008-0526-9>
68. *Forbes B. C., Stammler F.* 2009. Arctic climate change discourse: the contrasting politics of research agendas in the West and Russia. — Polar Res. 28(1): 28—42.
<https://doi.org/10.3402/polar.v28i1.6104>

69. *Lindén E., Gough L., Olofsson J.* 2021. Large and small herbivores have strong effects on tundra vegetation in Scandinavia and Alaska — *Ecol. Evol.* 11(17): 12141—12152.
<https://doi.org/10.1002/ece3.7977>
70. *R Core Team.* 2021. R: A Language and Environment for Statistical Computing. The R Foundation. Vienna.
<https://www.R-project.org>
71. *Kolari T. H. M., Timo T., Verdonen M., Forbes B. C., Tahvanainen T.* 2019. Reindeer grazing controls willows but has only minor effects on plant communities in Fennoscandian oroarctic mires. — *Arct. Antarct. Alp. Res.* 51(1): 506—520.
<https://doi.org/10.1080/15230430.2019.1679940>
72. *Villoslada M., Ylänne H., Juutinen S., Kolari T. H. M., Korpelainen P., Tahvanainen T., Wolff F., Kumpula T.* 2023. Reindeer control over shrubification in subarctic wetlands: spatial analysis based on unoccupied aerial vehicle imagery — *Remote Sens. Ecol. Conserv.* 9(5): 687—706.
<https://doi.org/10.1002/rse2.337>
73. *Petit Bon M., Hansen B. B., Loonen M. J. J. E., Petraglia A., Bråthen K. A., Böhner H., Layton-Matthews K., Beard K. H., Le Moullec M., Jónsdóttir I. S., van der Wal R.* 2023. Long-term herbivore removal experiments reveal how geese and reindeer shape vegetation and ecosystem CO₂-fluxes in high-Arctic tundra. — *J. Ecol.* 111(12): 2627—2642.
<https://doi.org/10.1111/1365-2745.14200>
74. *Vikhamar-Schuler D., Isaksen K., Haugen J. E., Tømmervik H., Luks B., Schuler T. V., Bjerke J. W.* 2016. Changes in winter warming events in the Nordic Arctic region. — *J. Climate.* 29(17): 6223—6244.
<https://doi.org/10.1175/JCLI-D-15-0763.1>
75. *Kumpula J., Kurkilahti M., Helle T., Colpaert A.* 2014. Both reindeer management and several other land use factors explain the reduction in ground lichens (*Cladonia* spp.) in pastures grazed by semi-domesticated reindeer in Finland. — *Reg. Environ. Change.* 14(2): 541—559.
<https://doi.org/10.1007/s10113-013-0508-5>
76. *van Rooij W., Aslaksen I., Eira I. H., Burgess P., Garnåsjordet P. A.* 2023. Loss of reindeer grazing land in Finnmark, Norway, and effects on biodiversity: GLOBIO3 as decision support tool at Arctic local level. — In: *Reindeer Husbandry. Adaptation to the Changing Arctic. Volume 1.* Springer Polar Sciences. Cham.
https://doi.org/10.1007/978-3-031-17625-8_9
77. *Alkemade R., van Oorschot M., Miles L., Nellemann C., Bakkenes M., ten Brink B.* 2009. GLOBIO3: A framework to investigate options for reducing global terrestrial biodiversity loss. — *Ecosystems.* 12(3): 374—390.
<https://doi.org/10.1007/s10021-009-9229-5>
78. *Кряжмский Ф. В., Маклаков К. В., Морозов Л. М., Эктова С. Н.* 2011. Системный анализ биогеоценозов полуострова Ямал: имитационное моделирование воздействия крупностадного оленеводства на растительный покров. — *Экология.* 5: 323—333.
<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17057717>
79. *Нешатаева В. Ю., Скворцов К. И., Якубов В. В.* 2023. Кормовые виды растений, лишайников, и грибов оленьих пастбищ в Олюторском районе Корякского округа (Камчатский край). — *Раст. ресурсы.* 52(2): 109—128.
<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=53985970>

Reindeer Pasture Vegetation Studies: History and Basic Approaches in Modern Research

© 2024. Karsonova D. D.

Komarov Botanical Institute RAS, Saint-Petersburg, Russia

e-mail: dariakarson@gmail.com

Abstract — It highlights the main directions of vegetation studies in the USSR and Russia, the USA, Canada, Sweden, Norway and Finland in 20th century. The article also discusses modern approaches in this field, outlines the main trends of research, and provides an overview of recent publications on the most promising directions.

Keywords: reindeer pastures, Eastern European tundras

ACKNOWLEDGMENTS

This work was supported by the institutional research project No 122041100242-5 of the Komarov Botanical Institute of the Russian Academy of Sciences.

REFERENCES

1. *Lipsky S. A.* 2018. The condition of reindeer pastures in the Arctic zone of the Russian Federation, the major factors of their degradation and measures to ease the situation.— Remote Sensing and Land Monitoring. 62(6): 695—702. <https://www.miigaik.ru/upload/iblock/883/88321c02615b7612ce30a233b5631ee3.pdf>
2. *Shrenk A. I.* 1855. [Travelling to the North-East of European Russia through the Samoyed tundras to the northern Ural Mountains, undertaken by the Imperial order in 1837 by Alexander Shrenk]: Transl. from German. St. Petersburg. 665 p. <https://www.prilib.ru/item/441230> (In Russian)
3. *Belozеров S. T.* 1951. [Gavriil Ivanovich Tanfiliev]. Moscow. 1928 p. (In Russian)
4. *Tanfiliev G. I.* 1894. [On the tundras of the Timan Samoyeds in the summer of 1892]. St. Petersburg. 42 p. (In Russian)
5. *Tanfiliev G. I.* 1911. [Limits of forests in Polar Russia according to studies in the tundra of the Timan Samoyeds: With an appendix of the travel diary]. Odessa. 287 p. (In Russian)
6. *Grigoriev A. A.* 1924. [Geology and relief of the Bolshezemelskaya tundra and related problems].— Transactions of Northern scientific and industrial expedition. Vol. 22. Moscow. 64 p. (In Russian)
7. *Sambuk F. V., Dedov A. A.* 1934. [Subzones of the Pechora tundras].— Tr. BIN AS USSR. Ser. 3. Geobotany. 1: 29—50. (In Russian)
8. *Matveeva N. V.* 2006. (A review) A. A. Dedov. [Vegetation of the Malozemelskaya and Timanskaya tundras]. Syktyvkar. 160 p.— Vegetation of Russia. 8: 93—95. <https://doi.org/10.31111/vegrus/2006.08.93> (In Russian)
9. *Dedov A. A.* 1931. [Reindeer pastures of the Timanskaya tundra.— In: [Reindeer pastures of the Northern Territory]. Vol. 1. Arkhangelsk. P. 86—135. (In Russian)
10. *Dedov A. A.* 1933. [Summer reindeer pastures of the eastern part of the Malozemelskaya tundra].— In: [Reindeer pastures of the Northern Territory]. Vol. 2. Leningrad. P. 53—119. (In Russian)
11. *Sambuk F. V.* 1933. [Pasture lands of the first Nenets reindeer herding collective farm].— In: [Reindeer pastures of the Northern Territory]. Vol. 2. Leningrad. P. 9—53. (In Russian)
12. *Sambuk F. V.* 1931. [Methods of route studies of tundra pastures].— Proc. of the Polar Commission. Leningrad. Vol. 6. 48 p. (In Russian)
13. *Andreev V. N.* 1931. [Vegetation of the tundra of the northern Kanin Peninsula].— In: [Reindeer pastures of the Northern Territory]. Vol. 1. Arkhangelsk. P. 5—85. (In Russian)
14. *Andreev V. N.* 1940. [Methods of visual aerial survey of reindeer pastures].— Proc. of the Research institute of polar agriculture, animal husbandry and commercial farming. Ser. Reindeer Breeding. 12: 13—66. (In Russian)
15. *Andreev V. N.* 1948. [Reindeer forages and pastures].— In: [Reindeer breeding]. 100—157. (In Russian)
16. *Andreev V. N.* 1952. [Application of airborne methods for geobotanical mapping and inventory of foraging areas].— Bot. Zhurn. (St. Petersburg). 37(6): 843—847. (In Russian)
17. *Andreev V. N.* 1953. [Management and improvement of pastures in reindeer breeding].— In: [Proc. VI Extended session of the Academic council of the Research institute of polar agriculture, animal husbandry and commercial farming. Vol. 2]. P. 27—38. (In Russian)
18. *Andreev V. N.* 1954. [Growth of forage lichens and methods of its regulation].— Proceedings of the Komarov Botanical Institute. Ser. 3. Geobotany. 9: 11—74. (In Russian)
19. *Andreev V. N.* 1957. [Management of pastures in northern reindeer breeding]. Tyumen. 44 p. (In Russian)
20. *Ramensky L. G.* 1938. [Introduction to the complex soil and geobotanical study of lands]. Moscow. 620 p.
21. *Andreev V. H.* 1933. [Fodder resources of reindeer breeding in the western part of the Bolshezemelskaya tundra].— [Reindeer pastures of the Northern Territory]. Vol. 2. Leningrad. P. 119—184. (In Russian)
22. *Andreev V. N.* 1971. [Methodology of inventorying and mapping of phytomass fodder reserves in the Subarctic].— Rastitelnye Resursy. 7(3): 439—444. (In Russian)
23. *Gorodkov B. N.* 1934. [On the bases and methods of economic and quality classification of reindeer pastures].— Sovetsk. Bot. 1: 54—66. (In Russian)

24. *Gorodkov B. N.* 1935. [Vegetation of the tundra zone of the USSR]. Leningrad. 142 p. (In Russian)
25. *Karev G. I.* 1956. [Reindeer forages and pastures]. Moscow. 100 p. (In Russian)
26. *Utkin V. V.* 1974. [Long-term changes in reindeer pastures in the Malozemelskaya and north-western part of the Bolshezemelskaya tundra].— [Annual research report 1973]. Naryan-Mar. Manuscript. (In Russian)
27. *Utkin V. V.* 1975. [Measures to increase the productivity of reindeer breeding].— In: [The system of agricultural and commercial farming in the Nenets National District]. Leningrad. P. 40—43. (In Russian)
28. *Utkin V. V.* 1977. [On the changes in vegetation of forest-tundra pastures of the Pechora River basin due to perennial grazing].— In: [Land reclamation of the Far North]. P. 243—250. (In Russian)
29. *Sambuk F. V.* 1931. [Geobotanical characteristics of winter reindeer pastures at the mouth of the Pechora River].— In: [Reindeer pastures of the Northern Territory]. Vol. 1. Arkhangelsk. P. 136—167. (In Russian)
30. [Feed characteristics of plants of the Far North]. 1964. Moscow, Leningrad. 484 p. (In Russian)
31. *Bogdanovskaya-Gienef I. D.* 1938a. [Natural conditions and reindeer pastures on Kolguyev Island].— Proc. of the Research Institute of polar agriculture, animal husbandry and commercial farming. Ser. Reindeer Breeding. 2: 7—162. (In Russian)
32. *Bogdanovskaya-Gienef I. D.* 1938b. [New data on the flora of Kolguyev Island].— Problems of the Arctic. 2: 173—178. (In Russian)
33. *Lavrinenko O. V., Lavrinenko I. A.* 2012. [Plant communities of the eastern part of Kolguyev Island].— In: [Proceedings of the Scientific and practical conference “Agro-Arctic. Scientific support for the development of agroindustrial complex of the European North of Russia. 24—25 July 2012”]. Naryan-Mar. P. 255—268. (In Russian)
34. *Lavrinenko O. V., Lavrinenko I. A.* 2014. The plant cover of reindeer pastures of the Kolguyev Island: succession of research and current approaches.— In: [The botany: history, theory, practice (on 300th anniversary of the foundation of Komarov Botanical Institute of the Russian Academy of Sciences)]. P. 124—130.
https://www.binran.ru/files/publications/Proceedings/Proceedings_300-years/Proceedings_300-years_Lavrinenko.pdf (In Russian)
35. *Kholod S. S., Uvarov S. A.* 2011. [Plant communities of the central part of Kolguyev Island].— In: [Proceedings of the All-Russian scientific conference “Domestic geobotany: main milestones and prospects”]. St. Petersburg. Vol 1. P. 285—289.
<http://resources.krc.karelia.ru/geobotany/doc/geography.pdf> (In Russian)
36. *Palmer L. J.* 1926. Progress of reindeer grazing investigations in Alaska.— U. S. Dep. Agric. Bull. No.1423. 37 p.
37. *Dickson J. G.* 1956. Forage plants, soils and general grazing conditions on Umnak, Kodiak and other areas. Alaska Agricultural Experiment Station. 8 p.
<http://hdl.handle.net/11122/2683>
38. *Pegau R. E.* 1968. Growth rates of important reindeer forage lichens on the Seward Peninsula, Alaska.— Arctic. 21(4): 255—259.
<https://doi.org/10.14430/arctic3268>
39. *Pegau R. E.* 1970. Effect of reindeer trampling and grazing on lichens.— Journal of Range Management. 23(2): 95—97.
<https://doi.org/10.2307/3896107>
40. *Porsild A. E.* 1943. Materials for a flora of the continental Northwest Territories of Canada.— Sargentia. 4: 1—79.
<https://www.biodiversitylibrary.org/page/61506719>
41. *Porsild A. E.* 1945. The alpine flora of the East Slope of Mackenzie Mountains, Northwest Territories.— Nat. Mus. Can. Bull. 101. Biol. Series No. 30. 35 p.
42. *Gates R. R.* 1928. Notes on the tundra of Russian Lapland.— J. Ecol. 16: 150—160.
https://archive.org/download/in.ernet.dli.2015.25348/2015.25348.The-Journal-Of-Ecology-Vol-xvi-1928_text.pdf
43. *Skuncke F.* 1969. Reindeer ecology and management in Sweden.— Biol. Pap. Univ. Alaska. 8. 182 p. <https://scholarworks.alaska.edu/handle/11122/1430>
44. *Bernes C., Bråthen K. A., Forbes B. C., Speed J. D. M., Moen J.* 2015. What are the impacts of reindeer/caribou (*Rangifer tarandus* L.) on arctic and alpine vegetation? A systematic review protocol.— Environ. Evid. 4: 4.
<https://doi.org/10.1186/s13750-014-0030-3>
45. *Colpaert A.* 1993. Land use mapping with Landsat 5 TM imagery: a case study from Hailuoto, Finland.— Fennia. 171(1): 1—23.
<https://fennia.journal.fi/article/view/8869>
46. *Colpaert A., Kumpula J.* 2012. Detecting changes in the state of reindeer pastures in northernmost Finland, 1995—2005.— Polar Record. 48(1): 74—82.
<https://doi.org/10.1017/S0032247411000581>

47. Colpaert A., Kumpula J., Nieminen M. 2003. Reindeer pasture biomass assessment using satellite remote sensing.— Arctic. 56(2): 147—158.
<http://www.jstor.org/stable/40513049>
48. Tømmervik H., Høgda K. A., Solheim I. 2003. Monitoring vegetation changes in Pasvik (Norway) and Pechenga in Kola Peninsula (Russia) using multitemporal Landsat MSS/TM data.— Remote Sens. Environ. 85: 370—388.
[https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(03\)00014-2](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(03)00014-2)
49. Lemenkova P. 2015. [Satellite image based mapping of wetland tundra landscapes using ILWIS GIS].— In: [Actual problems of the state and management of water resources. Proc. of the regional conference]. Yoshkar-Ola. P. 110—113.
<https://ssrn.com/abstract=3321064>
50. Polezhaev A. V. 2013. Vegetation of the north of the Russian Far East in the cartographic models.— Geobotanicheskoye kartografirovaniye. 1: 48—67.
<https://doi.org/10.31111/geobotmap/2013.48> (In Russian)
51. Mikhailov V. V., Spesivtsev A. V., Sobolevsky V. A., Kartashev N. K., Lavrinenko I. A., Lavrinenko O. V., Spesivtseva V. A. 2021. Multi-model estimation of phytomass dynamics of tundra plant communities based on satellite images.— Izv. Atmos. Ocean. Phys. 57(9): 1198—1210.
<https://doi.org/10.1134/S0001433821090553>
52. Elsakov V. V., Morozova L. M. 2018. [Satellite monitoring of the vegetation cover of reindeer pastures of the Yamal Peninsula].— Scientific Bulletin of the Yamal-Nenets Autonomous District. 4(101): 21—23.
<https://elibrary.ru/item.asp?id=41332088> (In Russian)
53. Elsakov V. V., Shchanov V. M. 2019. Current changes in vegetation cover of Timan tundra reindeer pastures from analysis of satellite data.— Sovremennye problemy dstantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa. 16(2): 128—142.
<https://doi.org/10.21046/2070-7401-2019-16-2-128-142> (In Russian)
54. Rickbeil G. J. M., Hermosilla T., Coops N. C., White J. C., Wulder M. A. 2017. Estimating changes in lichen mat volume through time and related effects on barren ground caribou (*Rangifer tarandus groenlandicus*) movement.— PLoS ONE 12(3): e0172669.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0172669>
55. Geoinformation system of the Nenets Autonomous Area (GIS NAO): <https://gisnao.ru>
56. Uvarov S. A., Lapina A. M., Lavrinenko O. V. 2021. Phytomass of lichens and green plants in the East European tundra communities.— Rastitelnye Resursy. 57(1): 15—38.
<https://doi.org/10.31857/S0033994621010118> (In Russian)
57. Bråthen K. A., Ims R. A., Yoccoz N. G., Fauchald P., Tveraa T., Hausner V. H. 2007. Induced shift in ecosystem productivity? Extensive scale effects of abundant large herbivores.— Ecosystems. 10(5): 773—789.
<https://doi.org/10.1007/s10021-007-9058-3>
58. Odland A., Sandvik S. M., Bjerketvedt D. K., Myrvold L. L. 2014. Estimation of lichen biomass with emphasis on reindeer winter pastures at Hardangervidda, S Norway.— Rangifer. 34(1): 95—110.
<https://doi.org/10.7557/2.34.1.2852>
59. Abdulmanova S. Y., Ektova S. N. 2015. Growth rate of forage *Cladonia* lichens (Cladoniaceae) on summer and winter pastures of domestic reindeers.— Rastitelnye Resursy. 51(3): 344—356.
<https://doi.org/10.31857/S0033994620030085> (In Russian)
60. Bhatt U., Walker D. A., Raynolds M. K., Comiso J. C., Epstein H. E., Jia G. J., Gens R., Jorge E., Pinzon J. E., Tucker C. J., Tweedie C. E., Webber P. J. 2010. Circumpolar Arctic tundra vegetation change is linked to sea ice decline.— Earth Interactions. 14(8): 1—20.
<https://doi.org/10.1175/2010EI315.1>
61. Sundqvist M. K., Moen J., Björk R. G., Vowles T., Kytöviita M.-M., Parsons M. A., Olofsson J. 2019. Experimental evidence of the long-term effects of reindeer on Arctic vegetation greenness and species richness at a larger landscape scale.— J. Ecol. 107(6): 2724—2736.
<https://doi.org/10.1111/1365-2745.13201>
62. Kuusinen N., Juola J., Karki B., Stenroos S., Rautiainen M. 2020. A spectral analysis of common boreal ground lichen species.— Remote Sens. Environ. 247: 111955.
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111955>
63. Spiegel M. P., Volkovitskiy A., Terekhina A., Forbes B. C., Park T., Macias-Fauria M. 2023. Top-down regulation by a reindeer herding system limits climate-driven Arctic vegetation change at a regional scale.— Earth's Future. 11(7): 1—15.
<https://doi.org/10.1029/2022EF003407>

64. Veselkin D. V., Morozova L. M., Gorbunova A. M. 2021. Decrease of NDVI values in the southern tundra of Yamal in 2001–2018 correlates with the size of domesticated reindeer population. — *Sovremennye problemy dstantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. 18(2): 143–155.
<https://doi.org/10.21046/2070-7401-2021-18-2-143-155> (In Russian)
65. Gorbunova A. M. 2021. Changes of feed stocks in southern subarctic tundra of Yamal. — *Agrarian Bulletin of the Urals*. 02(205): 26–32.
<https://doi.org/10.32417/1997-4868-2021-205-02-26-32> (In Russian)
66. Gorbunova A. M., Gorbunov L. S., Veselkin D. B. 2023. Changes the reserves of green and lichen forage stocks in the southern tundra communities of Yamal from the 1930s to 2017–2019. — *Russ. J. Ecol.* 54(2): 77–87.
<https://doi.org/10.1134/S1067413623020066>
67. Kitti H., Forbes B. C., Oksanen J. 2008. Long- and short-term effects of reindeer grazing on tundra wetland vegetation. — *Polar Biol.* 32(2): 253–261.
<https://doi.org/10.1007/s00300-008-0526-9>
68. Forbes B. C., Stammer F. 2009. Arctic climate change discourse: the contrasting politics of research agendas in the West and Russia. — *Polar Res.* 28(1): 28–42.
<https://doi.org/10.3402/polar.v28i1.6104>
69. Lindén E., Gough L., Olofsson J. 2021. Large and small herbivores have strong effects on tundra vegetation in Scandinavia and Alaska. — *Ecol. Evol.* 11(17): 12141–12152.
<https://doi.org/10.1002/ece3.7977>
70. R Core Team. 2021. R: A Language and Environment for Statistical Computing. The R Foundation. Vienna.
<https://www.R-project.org>
71. Kolari T. H. M., Timo T., Verdonen M., Forbes B. C., Tahvanainen T. 2019. Reindeer grazing controls willows but has only minor effects on plant communities in Fennoscandian oroarctic mires. — *Arct. Antarct. Alp. Res.* 51(1): 506–520.
<https://doi.org/10.1080/15230430.2019.1679940>
72. Villoslada M., Ylännä H., Juutinen S., Kolari T. H. M., Korpelainen P., Tahvanainen T., Wolff F., Kumpula T. 2023. Reindeer control over shrubification in subarctic wetlands: spatial analysis based on unoccupied aerial vehicle imagery. — *Remote Sens. Ecol. Conserv.* 9(5): 687–706.
<https://doi.org/10.1002/rse2.337>
73. Petit Bon M., Hansen B. B., Loonen M. J. J. E., Petraglia A., Bråthen K. A., Böhner H., Layton-Matthews K., Beard K. H., Le Moullec M., Jónsdóttir I. S., van der Wal R. 2023. Long-term herbivore removal experiments reveal how geese and reindeer shape vegetation and ecosystem CO₂-fluxes in high-Arctic tundra. — *J. Ecol.* 111(12): 2627–2642.
<https://doi.org/10.1111/1365-2745.14200>
74. Vikhamar-Schuler D., Isaksen K., Haugen J. E., Tømmervik H., Luks B., Schuler T. V., Bjerke J. W. 2016. Changes in winter warming events in the Nordic Arctic region. — *J. Climate*. 29(17): 6223–6244.
<https://doi.org/10.1175/JCLI-D-15-0763.1>
75. Kumpula J., Kurkilahti M., Helle T., Colpaert A. 2014. Both reindeer management and several other land use factors explain the reduction in ground lichens (*Cladonia* spp.) in pastures grazed by semi-domesticated reindeer in Finland. — *Reg. Environ. Change*. 14(2): 541–559.
<https://doi.org/10.1007/s10113-013-0508-5>
76. van Rooij W., Aslaksen I., Eira I. H., Burgess P., Garnåsjordet P. A. 2023. Loss of reindeer grazing land in Finnmark, Norway, and effects on biodiversity: GLOBIO3 as decision support tool at Arctic local level. — In: *Reindeer Husbandry. Adaptation to the Changing Arctic*. Volume 1. Springer Polar Sciences. Cham.
https://doi.org/10.1007/978-3-031-17625-8_9
77. Alkemade R., van Oorschot M., Miles L., Nellemann C., Bakkenes M., ten Brink B. 2009. GLOBIO3: A framework to investigate options for reducing global terrestrial biodiversity loss. — *Ecosystems*. 12(3): 374–390.
<https://doi.org/10.1007/s10021-009-9229-5>
78. Kryazhimskii F. V., Maklakov K. V., Morozov L. M., Ektova S. N. 2011. System analysis of biogeocenoses of the Yamal Peninsula: simulation of the impact of large-herd reindeer breeding on vegetation. — *Russ. J. Ecol.* 42(5): 351–361.
<https://doi.org/10.1134/S1067413611050092>
79. Neshataeva V. Yu., Skvortsov K. I., Yakubov V. V. 2023. Plant, lichen and fungi forage species of reindeer pastures in the Olyutorsky district of the Koryak region (Kamchatka Territory). — *Rastitelnye Resursy*. 52(2): 109–128.
<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=53985970> (In Russian)

УДК 633.88: 582.949.2: 615: 547.3

ВТОРИЧНЫЕ МЕТАБОЛИТЫ И БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ *AGASTACHE RUGOSA* (LAMIACEAE)

© 2024 г. Л. М. Беленовская, А. А. Науменко*

Ботанический институт им. В. Л. Комарова РАН, г. Санкт-Петербург, Россия
*e-mail: ANaumenko@binran.ru

Поступила в редакцию 22.01.2024

После доработки 04.02.2024

Принята к публикации 07.02.2024

В результате обобщения данных литературных источников показано, что *Agastache rugosa* (Fisch. et C. A. Mey) Kuntze характеризуется типичными для Lamiaceae фенолпропаноидными и терпеноидными метаболитами. В надземной части *A. rugosa* содержатся разнообразные по структурам фенольные соединения (простые фенолы, фенолкарбоновые кислоты, лигнаны, флавоноиды и кумарины). В состав эфирного масла *A. rugosa* входят терпеноидные компоненты, представленные моно- и сесквитерпеноидами, а также ди- и тритерпеноидами. Результаты экспериментальных исследований в условиях *in vitro* и *in vivo* свидетельствуют о том, что биологически активные вещества суммарно, в составе разных фракций, и даже по отдельности проявляют антиоксидантную, противораковую, противовирусную, противогрибковую и антибактериальную активности; эффективны при лечении остеопороза и подагры, а также оказывают положительное действие на организм при активных занятиях силовыми видами спорта.

Ключевые слова: *Agastache rugosa*, компонентный состав, вторичные метаболиты, биологическая активность

DOI: 10.31857/S0033994624020035, **EDN:** PYNBUD

В последние годы ведется активный поиск малотоксичных эффективных средств растительного происхождения, которые можно использовать в качестве альтернативы химическим препаратам для профилактики, контроля и лечения ряда заболеваний. Поскольку многие роды крупного семейства губоцветных (Lamiaceae) являются востребованными для использования в официальной медицине, обобщение данных по компонентному составу и биологической активности отдельных представителей этого семейства является актуальным.

Agastache rugosa (Fisch. et C. A. Mey) Kuntze — многоколосник морщинистый — широко известен под названием «корейская мята», и является одним из самых важных ароматических растений в Республике Корея. Эфирные масла из *A. rugosa* использовали для приготовления благовоний со времен династии Корё, и применяют по настоящее время [1].

A. rugosa — многолетнее травянистое растение с толстым корневищем, с прямостоячим стеблем до 1 метра высотой; листья до 12 см длиной и до 8 см шириной, простые, на черешке (в 2—4

раза короче пластинки); яйцевидные или продолговато-яйцевидные с сердцевидным, реже округлым основанием, по краям зубчатые, покрытые железистыми волосками. Синфлоресценция — колосовидный тирс, до 10 см длиной и 2 см шириной, с очень сильно сближенными ложными мутовками цветков. На территории России вид встречается на Дальнем Востоке (Амурский, Приморский и Курильский р-ны) преимущественно на каменистых склонах и скалах, в зарослях кустарников [2]; за пределами России распространен в сев. Китае, во Вьетнаме, на о. Тайвань, в Корее и Японии [3].

В надземных и подземных частях *A. rugosa* содержится много фенольных соединений, благодаря которым препараты из этого растения, как в чистом виде, так и в сочетании с другими лекарственными растениями (например, с плодами инжира и ягодами годжи), проявляют разные виды биологической активности. Известно, что цветки этого вида отличаются более высоким содержанием фенолов и, следовательно, проявляют более выраженную антибактериальную и антиоксидантную активности, по сравнению

с его листьями и стеблями. С помощью анализа GC-TOFMS в цветках корейской мяты было идентифицировано в общей сложности 43 соединения, включая аминокислоты, органические кислоты, фенольные соединения, сахара, соединения, связанные с фотодыханием, и промежуточные продукты цикла трикарбоновых кислот. Таким образом, цветки *A. rugosa* потенциально могут использоваться в качестве сырья для фармацевтической, косметической, пищевой и смежных отраслей [4]. Мёд, получаемый из представителей рода *Agastache*, также обладает значительной антиоксидантной активностью [5].

Благодаря своему богатому компонентному составу, *A. rugosa* проявляет большой спектр разных биологических эффектов. Поэтому продолжение изучения свойств и биологической активности вторичных метаболитов *A. rugosa* является очень актуальным для выявления перспектив потенциальной возможности дальнейшего использования этого растения в качестве лекарственного сырья для препаратов с целью лечения различных заболеваний.

Цель обзора — структурировать имеющиеся в литературе данные по компонентному составу, с учетом исторического развития исследований, и обобщить результаты оценки биологической активности *Agastache rugosa* за период 2013—2023 гг. включительно.

КОМПОНЕНТНЫЙ СОСТАВ

ФЕНОЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

Простые фенолы и фенилпропаноиды

Одно из первых направлений исследований компонентного состава *Agastache rugosa* связано с изучением эфирного масла этого растения. На ранних этапах исследования было показано, что одним из главных компонентов эфирного масла, выделенного из надземной части *A. rugosa*, является метилэвгенол, содержание которого в ряде исследованных образцов масла составляло от 83.5 до 96.2%. Другие фенольные соединения — сафрол, метилхавикол (эстрагол), а также анисовый и *n*-метоксикоричный альдегиды — были идентифицированы в составе эфирного масла, выделенного из листьев [6—10]. Исследования компонентного состава образцов эфирного масла, полученных из листьев и цветков *A. rugosa*, с применением методов газо-жидкостной хроматогра-

фии и масс-спектрометрии показали, что основными фенольными компонентами масла являются эстрагол, эвгенол и изоэвгенол [11, 12]. Более поздние исследования компонентов эфирного масла, выделенного из цветущей надземной части *A. rugosa*, установили наличие в них известных фенольных соединений, идентифицированных как анетол, тимол, карвакрол, ванилин и деметилэвгенол, а также анисовый, *n*-метоксикоричный и 2-фенилпропионовый альдегиды [13—16].

Другие известные фенольные соединения, идентифицированные как салидрозид, цитрусин С, бензил-β-глюкопиранозид и деметилэвгенол-β-D-глюкопиранозид, были обнаружены при исследовании компонентов листьев *A. rugosa* [17].

Фенолкарбоновые кислоты и их производные

Новые фенольные гликозиды, химические структуры которых были определены как 12-O-[6'-O-(*E*)-ферулоил]-β-D-глюкопиранозид (3*R*,7*R*)-тубероновой кислоты и 2-O-[6'-O-(*E*)-ферулоил]-β-D-глюкопиранозид салициловой кислоты, были выделены из надземной части *A. rugosa* наряду с новыми фенилпропаноидными гликозидами, получившими названия — хавикол-1-O-(6'-O-метилмалонил)-β-D-глюкопиранозид и хавикол-1-O-(6'-ацетил)-β-D-глюкопиранозид [18]. Там же были обнаружены известные фенольные кислоты — хлорогеновая, кофейная, протокатеховая, розмариновая и сальвианоловая кислота, а также — метиловые эфиры розмариновой и кофейной кислот [19—24].

Лигнаны

Химическое исследование целого растения *A. rugosa*, а также компонентов эфирного и жирного масел, привело к выделению двух новых лигнанов, получивших названия — агастинол и агастенон. Их химические структуры были определены как 4-(4-гидрокси-3-метоксибензил)-2-(4-гидрокси-3-метоксифенил)-тетрагидрофуран-3-ил метиловый эфир (8*S*,7'*R*,8'*S*)-4-гидроксibenзойной кислоты и 4-(гидрокси-3-метоксибензилиден)-2-(4-гидрокси-3-метоксифенил)-тетрагидрофуран-3-ил метиловый эфир (7'*R*,8'*S*)-4-гидроксibenзойной кислоты соответственно [25, 26].

Флавоноиды

На ранних этапах исследований компонентного состава надземных и подземных частей *Agastache rugosa* были обнаружены известные флавоноиды — апигенин, акацетин, тилианин, агастахозид

и линарин [27]. Продолжение исследований компонентов надземной части *A. rugosa* привело к выделению новых гликозилфлавонов, получивших названия — агастахин и изоагастахозид, химические структуры которых были установлены как 2''-О-ацетилтилианин и ди-6''-тилианин-малонат соответственно [28, 29].

Продолжение исследований компонентного состава надземной части *A. rugosa* также установило наличие нового флавоноидного гликозида, структура которого была определена как акацетин-2''-О-ацетил-6''-О-малонил-β-D-глюкопиранозид. Флавоноид — 7-О-β-(6''-(*E*)-кратоноилглюкопиранозид акацетина — был обнаружен в составе компонентов листьев *A. rugosa* [20, 30—32]. Более поздние исследования компонентного состава надземной части этого растения также привели к обнаружению нового флавоноидного гликозида, структура которого была определена как акацетин-7-О-(3''-О-ацетил-6''-О-малонил)-β-D-глюкопиранозид [18, 24].

Известные изофлавоноиды — генистеин, каликозин и 7-О-β-D-глюкозид каликозина — были обнаружены в составе водного экстракта целого растения *A. rugosa* [23, 33].

ТЕРПЕНОИДЫ

Моно- и сесквитерпеноиды

Ранние исследования состава образцов эфирного масла, полученных из целого растения *Agastache rugosa* методом отгонки с водяным паром, установили наличие в числе них ряда известных моно- и сесквитерпеноидов, идентифицированных как α-пинен, β-пинен, D-лимонен, мирцен, *n*-цимол, линалоол, ментон, изоментон, дигидрокарвон, пулегон, кариофиллен, α-кариофиллен, β-кариофиллен, оксид β-кариофиллена, α-иланген, элемен, β-элемен, β-гумулен, β-мууролен, α-фарнезен, β-фарнезен, фарнезол, γ-кадинен, δ-кадинен, каламенен и β-бурбонен [6—8, 25, 34].

Изучение состава эфирного масла, выделенного из листьев и цветков *A. rugosa* показало, что одним из его главных компонентов является *n*-ментан-3-он, содержание которого в составе масла достигает 19.2%. В числе других компонентов масла впервые были обнаружены *транс*-оцимен, а в масле из листьев — лимонен [11]. Другие сесквитерпеноиды, идентифицированные как α-гумулен, бициклогермакрин, артемизиатриен, γ-мууролен и (*E*)-кариофиллен, были обнаруже-

ны в составе масла из листьев и цветков *A. rugosa*, а в масле из листьев были обнаружены *транс*-кариофиллен [15].

Исследования эфирного масла, выделенного из цветущей надземной части *A. rugosa*, позволили обнаружить в числе его компонентов ряд других терпеноидов, идентифицированных как эликсен, α-кубебен, изоледен, α-мууролен, γ-мууролен, аромандрен, гермакрин В, гермакрин D, кадина-4,9-диен, α-кадинол, τ-мууролол, спатуленол и виридифлорол [16, 35].

Дитерпеноиды

Новые дитерпеноиды, получившие названия агастанол и дегидроагастол, а также известное соединение — метилагастанол — были выделены из корней *A. rugosa*. Их химические структуры были определены на основании данных инструментального анализа [36, 37]. Продолжение исследований компонентного состава корейской мяты привело к обнаружению нового дитерпеноидного хинона, названного агастахиноном, структура которого была установлена как 7-гидрокси-12-метокси-20-норабиета-1,5(10),6,8,12-пентаен-3,11,14-трион [38, 39].

Нор-изопреноиды и другие алициклические соединения

В листьях *A. rugosa* были обнаружены известные алициклические соединения (6*R*,9*R*)-3-оксо-α-ионол-9-О-β-D-глюкопиранозид, 6α-дигидроксид-3β-(β-глюкопиранозилокси)-7-мегастигмен-9-он и (*E*)-4-[3'-(β-глюкопиранозилокси)бутилен]-3,5,5-триметил-2-циклогексен-1-он [17].

Тритерпеноиды и фитостерины

На ранних этапах исследований корней *Agastache rugosa* в числе их компонентов были обнаружены тритерпеноиды — 3-О-ацетат эритродиола и 3-О-ацетилолеаноловый альдегид, а также тритерпеновые кислоты — маслиновая, олеаноловая и 3-О-ацетилолеаноловая [38]. Более позднее исследование компонентного состава эфирного масла, полученного из надземной части корейской мяты, установило наличие в нем урсоловой кислоты [31]. Известные фитостерины — даукостерин и β-ситостерин — были выделены из надземной части этого растения [31, 36].

Высшие жирные кислоты и другие алифатические соединения

На ранних этапах исследований компонентного состава эфирного масла *A. rugosa* в его составе было

установлено наличие ряда алифатических соединений, идентифицированных как октан-3-ол, 1-октен-3-ол, октан-3-он, 1-октен-3-илацетат, метилгексадеканоат и аллил-3-метил-2-бутианоат [7, 40].

Гексадекановая, линолевая, линоленовая, лауриновая, миристиновая, стеариновая, пальмитиновая, олеиновая, пальмитолеиновая, арахидиновая, бегеновая, генэйкозановая и лигноцериновая кислоты были обнаружены в составе образцов эфирного масла, выделенных из стеблей, листьев и цветков *A. rugosa* [41, 42].

Другие алифатические компоненты масла, идентифицированные как 2,6-диметилгептан, *n*-гексанол и 4-метил-1-пентен-3-ол были обнаружены при исследовании компонентного состава эфирного масла, выделенного из цветков *A. rugosa* [15].

Кроме того, анализ летучих органических соединений из листьев, цветков и нектара *A. rugosa* выявил наличие в их составе ряда алифатических соединений, идентифицированных как *n*-гексанол, (2*E*)-гексеналь, 1-октен-3-ол, 1-октен-3-илацетат и 3-октанон [43].

БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ

Экстракты надземных и подземных частей *A. rugosa*, эфирные масла, суммарное содержание биологически активных веществ из этих масел и экстрактов и их отдельные компоненты проявляют разнообразную биологическую активность.

В клинических экспериментах применение экстрактов надземных частей *Agastache rugosa* позволяло мужчинам среднего возраста (50—57 лет) при умеренных физических нагрузках наращивать мышечную массу без ущерба для здоровья [44].

В эксперименте на модели овариэктомии у мышей линии C57BL/6J этанольный экстракт надземной части *A. rugosa* и, выделенные из него, акацетин и тилианин повышали активность ALP (раннего маркера дифференцировки остеобластов в преостеобластных клетках MC3T3-E1) и отложение кальция. Наиболее высокой эффективностью обладал 80%-ный экстракт корейской мяты. Экспрессия сигнальных белков (β -катенин, BMP2/4, p-smad 2/3, p-smad 1/5, RUNX2, OPG, OPN и Coll α 1), связанных с дифференцировкой остеобластов, а также мРНК остеобластных маркеров, OCN, OPG и RUNX2 возрастали после обработки этанольным экстрактом (10 и 20 мкг/мл), акацетином (20 мкМ) и тилианином (40 мкМ). Анализ результатов показал, что эффект от воз-

действия экстракта *A. rugosa* проявлялся сильнее, чем от воздействия его отдельных компонентов. При этом розмариновая кислота, которая является одним из основных соединений экстракта, не проявила влияния на процесс формирования остеобластов. Этанольный экстракт корейской мяты значительно снижал увеличение веса мышцей, возникавшее после овариэктомии, и улучшал состояние микробиоты [45]. С другой стороны, водный экстракт надземной части *A. rugosa* подавлял остеокластогенез, ингибируя экспрессию C-Fos и NFATC1, мешая развитию ранних сигнальных путей в предшественниках остеокластов, ингибировал экспрессию клеточного онкогена c-Fos и ядерного фактора активированных цитоплазматических Т-клеток 1 (NFATc1), ключевых остеокластогенных факторов транскрипции, путем снижения RANKL-индуцированной активации митоген-активируемых протеинкиназ (MAPK) и ядерного фактора NF- κ B [46]. Эти результаты свидетельствуют о том, что этанольный экстракт корейской мяты может быть использован для лечения постменопаузального остеопороза.

В экспериментах на культуре клеток перитонеальных макрофагов мыши линии RAW 264.7 с индуцированным липополисахаридами воспалением этанольный экстракт *A. rugosa* в концентрациях 100 и 200 мкг/мл дозозависимо снижал выработку NO и уровни воспалительных белков iNOS и p-NF κ B p65 в обработанных LPS клетках, причем в концентрации 100 мкг/мл он снижал выделение NO более чем на 50%, не оказывая при этом никакого влияния на жизнеспособность клеток; значительно ингибировал секрецию IL-1 β , экспрессию iNOS, уровень фосфорилирования p38/JNK и активацию сигнального пути p38/JNK/MAPK, а также активацию сигнального пути NF- κ B, таким образом снижая воспаление [47, 48]. В экспериментах на крысах этанольный экстракт *A. rugosa* значительно ингибировал выделение COX-2, повышал экспрессию клаудина-5 и в результате снижал повреждение тканей пищевода при эзофагите, вызванном рефлюксом [48]; на модели гастрита, индуцированного HCl/EtOH, у мышей линии C57BL/6 экстракт *A. rugosa* также проявлял гастропротективные свойства [47]. Показано, что эстрагол и пулегон, содержащейся в надземных частях *A. rugosa* оказывают ингибирующее действие на клеточной линии рака желудка SGC-7901 [49]. В эксперименте на обработанных липополисахаридом (LPS) макрофагах линии RAW 264.7 оценивали противовоспалительную

активность отдельных соединений. Так, из 31 компонента, выделенного из надземных частей *A. rugosa*, акацетин-7-О-(3''-О-ацетил-6''-О-малонил)-β-D-глюкопиранозид (1), (3*R*,7*R*)-тубероновая кислота-12-О-[6'-О-(*E*)-ферулоил]-β-D-глюкопиранозид (14) и салициловая кислота-2-О-[6'-О-(*E*)-ферулоил]-β-D-глюкопиранозид (15), хавикол-1-О-(6'-О-метилмалонил)-β-D-глюкопиранозид (17) и хавикол-1-О-(6'-О-ацетил)-β-D-глюкопиранозид (18) ингибировали индуцированную ЛПС продукцию простагландина E2 (PGE2) со значениями IC₅₀ = 16.8 ± 0.8, 33.9 ± 4.8, 14.3 ± 2.1 и 48.8 ± 4.4 мкМ соответственно. Остальные компоненты проявляли сильную ингибирующую активность со значениями IC₅₀ = 1.7–8.4 мкМ [18].

Показано, что 80%-ный этанольный экстракт надземных частей (стебель и листья) *A. rugosa* активирует два неселективных хемосенсорных катионных канала — транзистентный рецепторный потенциал анкирин 1 (TRPA1) и транзитный рецепторный потенциал ваниллоида 1 (TRPV1), являющихся медиаторами воспаления. Содержащиеся в корейской мяте L-карвеол, *транс-п*-метоксикоричный альдегид, метилэвгенол, 4-аллил-анисол и *п*-анисовый альдегид селективно активировали hTRPA1 со значениями EC₅₀ = 190 ± 27, 30 ± 15, 160 ± 22, 1535 ± 316 и 547 ± 73 мкМ соответственно. Активность этих соединений эффективно ингибировали антагонисты hTRPA1, рутениевый красный и HC-030031. Хотя пять активных соединений из надземных частей *A. rugosa* продемонстрировали более слабую реакцию на кальций, чем аллилизотиоцианат (EC₅₀ = 7.2 ± 1.4 мкМ), результаты позволили предположить, что они являются специфическими и селективными агонистами hTRPA1.9 [50].

Y. Oh с соавторами [51] оценили защитные свойства листьев *A. rugosa* против вызванного УФ-В фотостарения в кератиноцитах HaCaT. Анализировали уровень активных форм кислорода (АФК), проматриксной металлопротеиназы-2 (проММП-2) и проматриксной металлопротеиназы-9 (проММП-9), общего глутатиона (GSH), общей супероксиддисмутазы (СОД), жизнеспособности клеток и степень удаления радикалов. Общее содержание флавоноидов в горячем водном экстракте листьев *A. rugosa* (ARE), составляло 23 ± 8 мг эквивалента нарингина/г ARE. Экстракт проявлял активность по удалению радикалов ABTS(+) с SC₅₀ 836.9 мкг/мл, ослаблял образование АФК, индуцированное УФ-В, что, в свою очередь,

уменьшило вызванное УФ-В повышение проММП-2 и проММП-9 как на уровне активности, так и на уровне белка. Наоборот, ARE был способен повышать общий уровень активности GSH и общего SOD с уменьшенным УФ-В излучением. ARE в используемых концентрациях не влиял на клеточную жизнеспособность кератиноцитов HaCaT под действием УФ-В облучения. Показано, что экстракт ARE обладает защитным потенциалом против индуцированного УФ-В фотостарения в кератиноцитах HaCaT, возможно, за счет активизации антиоксидантных компонентов, включая общий GSH и SOD. Таким образом, использование листьев *A. rugosa* признано целесообразным при производстве фотозащитного средства для кожи [51]. С другой стороны, D. Shin и соавторы показали, что если экстракт ARE ферментировать с помощью грамположительного пробиотического бактериального штамма *Lactobacillus rhamnosus* НК-9, то полученный ферментированный экстракт ARE-F будет повышать защитные свойства против фотоокислительного стресса, вызванного ультрафиолетовым излучением В [52]. Так, ARE-F обладал более высокой аттенуирующей активностью в отношении образования АФК, индуцированного УФ-В, чем ARE. Точно так же ARE-F был способен снижать количество проММП-9 и проММП-2, индуцированных УФ-В, более эффективно, чем ARE. Экстракт ARE-F продемонстрировал более высокие, чем ARE, тенденции к увеличению общего содержания GSH и активности SOD, сниженных УФ-В. Таким образом, показано, что пробиотическая бактериальная ферментация усиливает активность экстрактов листьев *Agastache rugosa* против УФ-В, тем самым защищая кожу от фотостарения [52]. Водный экстракт надземной части корейской мяты в эксперименте на 5-недельных безволосых мышах (SKH-1) снижал отрицательное влияние УФ-излучения на кожу — уменьшал образование морщин, утолщение эпидермиса, эритему и гиперпигментацию, восстанавливал влажность кожи за счет улучшения гидратации и трансэпидермальной потери воды, а также повышал уровень гиалуроновой кислоты за счет активации генов НА-синтазы; заметно увеличил плотность коллагена и количество гидроксиполина, снижая экспрессию мРНК матриксных металлопротеиназ, ответственных за деградацию коллагена, и стимулируя передачу сигналов по пути TGF-β/Smad [53, 54]. Эксперименты, проведенные в условиях *in vitro* с использованием реагентов (аскорбиновая кислота (AA), бычий сывороточный альбумин (BSA), DPPH,

нитрит натрия, реактив Брэдфорда, 3-(4,5-диметилтиазол-2-ил)-2,5-дифенилтетразолия бромид (МТТ), 2,7-дихлордигидрофлуоресцеиндиацетат (DCFH-DA), липополисахарид (LPS), фактор некроза опухоли- α (TNF- α), галловая кислота, NADH, эластаза, гиалуронидаза, гиалуроновая кислота (НА) и др.), на культуре клеток линии HaCaT также продемонстрировали антиоксидантные, противовоспалительные, ранозаживляющие свойства водного экстракта листьев *Agastache rugosa* и его эффективность в предупреждение образования морщин [55].

Результаты анализа воздействия этанольного экстракта надземных частей *A. rugosa* и выделенных из него компонентов на показатели активированного частичного тромбопластинового времени (АЧТВ), протромбинового времени (ПВ), тромбонового времени (ТВ) и фибриногена (ФВ) в условиях *in vitro* показали, что экстракт обладал значительной прокоагулянтной, в то время как его основные компоненты, акацетин и тилианин, — значительной антикоагулянтной активностью [31].

Антибактериальные свойства метанольных экстрактов *Agastache rugosa* были проанализированы методом дисковой диффузии [56]. Показано, что эти экстракты цветков корейской мяты, по сравнению с другими органами растения, обладали более высокой антибактериальной активностью в отношении шести бактериальных штаммов (*Aeromonas salmonicida* (KACC15136), *A. hydrophila* (KCTC12487), *Cronobacter sakazakii* (ATCC29544), *Escherichia coli* (KF 918342), *E. coli* (ATCC35150) и *Staphylococcus haemolyticus*). Известно, что цветки корейской мяты, по сравнению с листьями и стеблями, отличаются максимальным общим содержанием флавоноидов, антоцианов и фенольных соединений, содержанием розмариновой кислоты, тилианина и акацетина. Поскольку соединения фенольной природы в предыдущих экспериментах проявляли сильную антиоксидантную активность, более высокую активность метанольных экстрактов цветков связали с максимальным содержанием в них этих компонентов [56].

В эфирном масле листьев *A. rugosa*, произрастающего в регионе Синьцзян (Китай), было идентифицировано 26 компонентов, из которых преобладающими были *n*-ментан-3-он (48.8%) и эстрагол (20.8%), а в эфирном масле цветков — идентифицирован 21 компонент, с преобладанием таких соединений как пулегон (34.1%), эстрагол (29.5%) и *n*-ментан-3-он (19.2%) [57]. Показа-

но, что эфирные масла, выделенные из листьев и цветков, проявляют сильную антимикробную активность с МИК в пределах от 9.4 до 42 мкг/мл⁻¹, а также потенциальную антибиопленочную и противоопухолевую активности. Эфирное масло цветущих надземных частей *Agastache rugosa*, и выделенные из него эвгенол и метилэвгенол, проявляли сильную нематоцидную активность против нематоды корневых узлов *Meloidogyne incognita* [16]. Эфирное масло из высушенных цветков корейской мяты в эксперименте *in vitro* проявляло сильную антибактериальную активность против *Staphylococcus aureus* и *Escherichia coli*; экстракт листьев — против *Escherichia coli* [49]; экстракт корней — в отношении *Micrococcus luteus* (KCTC3063) и *Bacillus cereus* (KCTC3624) [58]. Показано также, что этанольный экстракт *Agastache rugosa* за относительно короткое время (4.6 ± 1.7 мин) в условиях *in vitro* может эффективно ингибировать и уничтожать демодецидных клещей человека *Demodex folliculorum* [59].

Эфирное масло надземной части *A. rugosa*, с высокой долей спирта пачули (45.7%), в эксперименте проявляло выраженную противопухолевую активность, ингибируя клетки В16 при самой низкой концентрации — 86.9 мкг/мл [60].

В эксперименте на добровольцах (мужчинах и женщинах) под влиянием эфирного масла значительно улучшались показатели электроэнцефалограммы: наблюдали значительное снижение показателей тэта-ритма (AT и RT), в то время как показатели альфа-ритма (RA, RSA, SEF50 и ASEF), свидетельствующие об уровне бодрости и концентрации внимания, значительно увеличились [61].

Известно, что фенольные соединения, обнаруженные в разных органах *A. rugosa* проявляют сильную антиоксидантную активность [4, 56]. Восстанавливающая способность метанольных экстрактов надземных частей корейской мяты возрастала в зависимости от концентрации [56]. Так, экстракты цветков, по сравнению с экстрактами листьев и стеблей, обладали самой высокой антиоксидантной активностью в концентрации 250 мкг/мл (38.8 ± 1.1 , 23.0 ± 1.4 и $20.0 \pm 0.6\%$ соответственно). К. Т. Desta и соавторы [62] показали, что антиоксидантная активность этанольных экстрактов надземных и подземных частей увеличивается в зависимости от концентрации (50—1000 мкг/мл). Максимальная активность была выявлена у этанольного экстракта корней *A. rugosa*, за которыми следуют цветки > листья > стебли.

Сильную ингибирующую активность в условиях *in vitro* в отношении моноаминоксидаз (MAO) проявили соединения, полученные из листьев *A. rugosa*. Так, акацетин сильно ингибировал рекомбинантные MAO-A и MAO-B человека ($IC_{50} = 0.19$ и 0.17 мкМ соответственно) и обратимо и конкурентно ингибировал MAO-A и MAO-B ($K_i = 0.045$ и 0.037 мкМ соответственно). Также было обнаружено, что акацетин 7-*O*-(6-*O*-малонилглюкозид) (AMG) эффективно ингибирует MAO-A и MAO-B ($IC_{50} = 2.34$ и 1.87 мкМ соответственно), а также обратимо и конкурентно ингибирует MAO-A и MAO-B ($K_i = 1.06$ и 0.38 мкМ соответственно). Тилианин (глюкозидное производное акацетина) проявлял небольшую ингибирующую активность, но введение малонильной группы в состав сахара значительно увеличивало ингибирующую активность [63].

Н. J. Yuk с соавторами [64] показали, что 50%-ный этанольный экстракт надземных частей *A. rugosa* проявляет выраженную ингибирующую активность ксантиноксидазы (ХО) ($IC_{50} = 32.4$ мкг/мл). В составе экстракта обнаружено 7 компонентов (сальвианоловая кислота выделена впервые), из которых максимальную ингибирующую активность ($IC_{50} = 0.6$ мкМ) проявил компонент 7-акацетин. Таким образом, 50%-ный экстракт можно использовать в качестве функционального ингредиента и натурального лекарственного средства для лечения гиперурикемии и подагры [64].

Показано, что благодаря акацетину, проявляющему сильную антиоксидантную активность, два экстракта *Agastache rugosa* проявили сильную способность к ингибированию тирозиназы и меланогенеза. Один экстракт (FE) был получен методом молочной ферментации с помощью *Lactobacillus rhamnosus* и *Lactobacillus paracasei*, второй — с помощью 70%-ного этанола (EE). Показано, что в экстракте FE, полученном с помощью молочной ферментации, суммарное содержание полифенолов и флавоноидов было выше (69.3 и 187 мг/г соответственно), чем в 70%-ном экстракте EE (60.5 и 138 мг/г соответственно); восстанавливающая способность ферментированного экстракта FE составила 0.562 (OD), а экстракта EE — 0.496 (OD); FE проявлял ингибирующую активность в отношении тирозиназы и меланина в меланоците B16F10 со значениями 51.04 и 66.60% соответственно, а EE — 41.88 и 42.23% соответственно [65].

В экспериментах выявлен механизм действия акацетина (5,7-дигидрокси-4'-метоксифлавона),

одного из основных экстрактивных компонентов *A. rugosa*: стимуляция транспортера глюкозы 4 типа GLUT4-зависимого поглощения [14C] 2-дезоксид-D-глюкозы (2-DG) в культивируемых клетках скелетных мышц L6 (дифференцированных клеток L6-GLUT4мус). Акацетин дозозависимо увеличивал поглощение 2-DG за счет усиления транслокации GLUT4 к плазматической мембране. Показано, что акацетин активировал путь СаМКП-АМРК (кальций — кальмодулинзависимая протеинкиназа) за счет увеличения концентрации внутриклеточного кальция. Фосфорилирование аРКС λ/ζ (изоформа протеинкиназы C) и продукция внутриклеточных активных форм кислорода (АФК) участвуют в индуцированной акацетином транслокации GLUT4. Кроме того, АМРК, активированная акацетином, ингибировала внутриклеточное накопление липидов и повышала поглощение 2-DG в клетках HepG2. Результаты позволяют предположить, что акацетин может быть полезен в качестве противодиабетического функционального ингредиента [66].

Доказано влияние акацетина (100 , 300 и 500 мкМ) в эксперименте на модели *AD Drosophila melanogaster*, экспрессирующих белок-предшественник амилоида (APP)/BACE1: предотвратил у мух как развитие отклонений в морфологии глаз (темные отложения, коллапс и слияние омматидиев, отсутствие щетинок омматидиев), так и поведенческие (двигательные аномалии) дефекты. Акацетин снижал уровни мРНК APP и BACE-1 человека у трансгенных мух, что позволяет предположить, что он играет важную роль в регуляции транскрипции BACE-1 и APP человека. Также акацетин снижал продукцию А β , вмешиваясь в активность BACE-1 и синтез APP, что приводит к снижению уровней карбоксиконцевых фрагментов APP и внутриклеточного домена APP. Следовательно, защитный эффект акацетина на продукцию β -амилоид (А β) опосредован регуляцией транскрипции BACE-1 и APP, что приводит к снижению экспрессии белка APP и активности BACE-1. Акацетин также ингибировал синтез APP, что приводило к уменьшению количества амилоидных бляшек. Поскольку фермент, расщепляющий А β человека (BACE-1), является мишенью для лечения болезни Альцгеймера (БА), это исследование очень актуально [67].

Показано, что акацетин [68] и β -кариофиллен [69], выделенные из *Agastache rugosa*, оказывают гепатопротекторное действие при фульминантной печеночной недостаточности, индуцированной d-галактозамином (GalN) и липополисахаридом (LPS).

В условиях *in vitro* акацетин 7-О-β-D-глюкозид (тилианин) обладает способностью подавлять экспрессию MUC5AC (ген кодирует белок из семейства муцинов). В эксперименте на модели аллергической астмы *in vivo* с использованием клещей домашней пыли (HDM) тилианин ослаблял вызванное HDM аллергическое воспаление дыхательных путей путем ингибирования Th2-опосредованного воспаления за счет селективного ингибирования оси IRF4-IL-33 в дендритных клетках [70].

Изучали антимеланогенезное действие деметилэвгенол β-d-глюкопиранозида, выделенного из *A. rugosa*, с использованием молекулярной регуляции меланогенеза в меланоцитах мыши Мелан-а и нормальных эпидермальных меланоцитах человека (NHEM), а также в моделях *in vivo*. Показано, что это соединение значительно ингибировало синтез меланина в меланоцитах и NHEM мыши Melan-a и улучшало пигментацию кожи [17].

Изучен аллелопатический эффект эфирного масла *A. rugosa* на модели клеточных линий та-

бака BY-2, экспрессирующих GFP-маркеры для микротрубочек и актиновых филаментов. Показано, что за аллелопатический эффект эфирного масла отвечает ментон. Активность ментона, направленная на микротрубочки, как в растительных клетках (табак BY-2), так и в проростках (*Arabidopsis thaliana*), приводила к разрушению этих микротрубочек и индуцировала смертность, связанную с быстрой пермеабиллизацией (менее 15 минут) плазматической мембраны. Эта смертность была повышена в маркерной линии тубулина, где микротрубочки умеренно стабилизированы. Это исследование будет очень полезно при разработке новых биогербицидов, которые были бы безвредны для окружающей среды [71].

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена в рамках темы Госзадания «Сосудистые растения Евразии: систематика, флора, растительные ресурсы» ААА-А-А19-119031290052-1.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hong M., Deepa P., Lee K.-Y., Kim K., Sowndhararajan K., Kim S. 2022. Chemical diversity of essential oils from Korean native populations of *Agastache rugosa* (Korean mint). — *Molecules*. 27(19): 6341. <https://doi.org/10.3390/molecules27196341>
2. Пробатова Н. С., Крестовская Т. В. 1995. Яснотковые — Lamiaceae. — В кн.: Сосудистые растения советского Дальнего Востока. Т. 7. СПб. С. 294—379.
3. Suh Y. 2007. Gen. *Agastache*. — In: The genera of vascular plants of Korea. Seoul. P. 823.
4. Yeo H. J., Park C. H., Park Y. E., Hyeon H., Kim J. K., Lee S. Y., Park S. U. 2021. Metabolic profiling and antioxidant activity during flower development in *Agastache rugosa*. — *Physiol. Mol. Biol. Plants*. 27(3): 445—455. <https://doi.org/10.1007/s12298-021-00945-z>
5. Anand S., Pang E., Livanos G., Mantri N. 2018. Characterization of physico-chemical properties and antioxidant capacities of bioactive honey produced from Australian grown *Agastache rugosa* and its correlation with colour and poly-phenol content. — *Molecules*. 23(1): 108. <https://doi.org/10.3390/molecules23010108>
6. Fujita S., Fujita Y. 1972. Miscellaneous contributions to the essential oils of the plants from various territories. XXIX. Essential oil of *Agastache rugosa* O. Kuntze (5). Sesquiterpene hydrocarbons in the oil. — *Yakugaku Zasshi* 92(7): 908—909. https://doi.org/10.1248/yakushi1947.92.7_908
7. Fujita S., Fujita Y. 1973. Miscellaneous contributions of the essential oils of the plants from various territories. XXX-III. Essential oil of *Agastache rugosa* O. Kuntze (6). — *Yakugaku Zasshi*. 93(12): 1679—1681. https://doi.org/10.1248/yakushi1947.93.12_1679
8. Ahn B., Yang Ch. B. 1991. Volatile flavor components of Bangah (*Agastache rugosa* O. Kuntze) herb. — *Korean J. Food Sci. Technology*. 23(5): 582—586. https://www.kjfst.or.kr/journal/view.html?uid=3670&page=582&s_v=23&s_n=5
9. Charles D. J., Simon J. E., Widrlechner M. P. 1991. Characterization of the essential oil constituents of *Agastache* species. — *J. Agric. Food Chem.* 39(11): 1946—1949. <https://doi.org/10.1021/jf00011a011>
10. Weyerstahl P., Marschall H., Manteuffel E., Huneck S. 1992. Volatile constituents of *Agastache rugosa*. — *J. Essent. Oil Res.* 4(6): 585—587. <https://doi.org/10.1080/10412905.1992.9698139>

11. D $\ddot{u}$ ng N. X., Cu L. D., Th $\ddot{a}$ i N. H., M $\ddot{o}$ i L. D., Hac L. V., Leclercq P. A. 1996. Constituents of the leaf and flower oils of *Agastache rugosa* (Fisch. et Mey.) O. Kuntze from Vietnam. — J. Essent. Oil Res. 8(2): 135—138.
<https://doi.org/10.1080/10412905.1996.9700580>
12. Yang D., Wang F., Su J., Zeng L. 2000. [Chemical composition of essential oil in stems, leaves and flowers of *Agastache rugosa*]. — J. Chin. Med. Mat. 23(3): 149—151.
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12575134/> (In Chinese)
13. Wang J. C. 2010. [GC—MS-Analysis of chemical composition of volatile oil from *Agastache rugosa*]. — Food Sci. 31(8): 223—225.
<https://www.spkx.net.cn/EN/Y2010/V31/I8/223>
14. Gong H., Zhou X., Zhu M., Ma X., Zhang X., Tian Sh. 2012. Constituents of essential oil isolated from the dried flower and leaf of *Agastache rugosa* (Fisch. et C. A. Mey.) O. Kuntze from Xinjiang, in China. — J. Essent. Oil Bearing Plants. 15(4): 534—538.
<https://doi.org/10.1080/0972060X.2012.10644084>
15. Lim S. S., Jang J. M., Park W. T., Uddin M. R., Chae S. C., Kim H. H., Park S. U. 2013. Chemical composition of essential oils from flower and leaf of Korean mint, *Agastache rugosa*. — Asian J. Chem. 25(8): 4361—4363.
<http://doi.org/10.14233/ajchem.2013.13977>
16. Li H. Q., Liu Q. Z., Liu Z. L., Du Sh. Sh., Deng Z. W. 2013. Chemical composition and nematocidal activity of essential oil of *Agastache rugosa* against *Meloidogyne incognita*. — Molecules. 18(4): 4170—4180.
<https://doi.org/10.3390/molecules18044170>
17. Lee T. H., Park S., Yoo G., Jang Ch., Kim M. H., Kim S. H., Kim S. Y. 2016. Demethyleugenol β -glucopyranoside isolated from *Agastache rugosa* decreases melanin synthesis via down-regulation of MITF and SOX9. — J. Agric. Food Chem. 64(41): 7733—7742.
<http://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b03256>
18. Seo Y. H., Kang S. Y., Shin J. S., Ryu S. M., Lee A. Y., Choi G. S., Moon B. C., Jang D. S., Shim S. H., Lee D., Lee K. T., Lee J. 2019. Chemical constituents from the aerial parts of *Agastache rugosa* and their inhibitory activities on prostaglandin E2 production in lipopolysaccharide-treated Raw 264.7 macrophages. — J. Nat. Prod. 82(12): 3379—3385.
<https://doi.org/10.1021/acs.jnatprod.9b00697>
19. Kim J. B., Kim J. B., Cho K. J., Hwang Y. S., Park R. D. 1999. Isolation, identification and activity of rosmarinic acid, a potent antioxidant extracted from Korean *Agastache rugosa*. — J. Kor. Soc. Agric. Chem. Biotechnol. 42(3): 262—266.
<https://koreascience.kr/article/JAKO199903043022025.pdf>
20. Tuan P. A., Park W. T., Xu H., Park N. I., Park S. H. 2012. Accumulation of tilianin and rosmarinic acid and expression of phenylpropanoid biosynthetic genes in *Agastache rugosa*. — J. Agr. Food Chem. 60(23): 5945—5951.
<https://doi.org/10.1021/jf300833m>
21. Zielińska S., Kolniak-Ostek J., Dziadas M., Oszmiański J., Matkowski A. 2016. Characterization of polyphenols in *Agastache rugosa* leaves and inflorescences by UPLC-qTOF-MS following FCPC-separation. — J. Liq. Chromatogr. Relat. Technol. 39(4): 209—219.
<https://doi.org/10.1080/10826076.2016.1147461>
22. Cao P., Xie P., Wang X., Wang J., Wei J., Kang W. Y. 2017. Chemical constituents and coagulation activity of *Agastache rugosa*. — BMC Complement. Altern. Med. 17: 93.
<https://doi.org/10.1186/s12906-017-1592-8>
23. Lee J. J., Lee J. H., Gu M. J., Han J. H., Cho W. K., Ma Y. 2017. *Agastache rugosa* Kuntze extract, containing the active component rosmarinic acid, prevent atherosclerosis through up-regulation of the cyclin-dependent kinase inhibitors p21^{WAF1/CIP1} and p27^{KIP}. — J. Funct. Foods. 30: 30—38.
<https://doi.org/10.1016/j.jff.2016.12.025>
24. Yuk H. J., Won Ryu H. W., Kim D. S. 2023. Potent xanthine oxidase inhibitory activity of constituents of *Agastache rugosa* (Fisch. et C. A. Mey.) Kuntze. — Foods. 12(3): 573.
<https://doi.org/10.3390/foods12030573>
25. Захаров А. М., Доля В. С., Захарова О. И., Беспалова А. С., Литвинова Н. В. 1988. Эфирное и жирное масла *Agastache rugosa*. — Химия природ. соедин. 21(3): 449—450.
26. Lee C. H., Kim N. H., Kho Y. E. 2002. Agastinol and agastenol, novel lignans from *Agastache rugosa* and their evaluation in an apoptosis inhibition assay. — J. Nat. Prod. 65(3): 414—416.
<https://doi.org/10.1021/np010425e>
27. Захарова О. И., Захаров А. М., Глызин В. И. 1979. Флавоноиды *Agastache rugosa*. — Химия природн. соедин. 12(5): 642—646.

28. Itokawa H., Suto K., Takeya K. 1981. Structures of agastachoside and agastachin, new glucosylflavones isolated from *Agastache rugosa*. — Chem. Pharm. Bull. 29(6): 1777—1779.
<https://doi.org/10.1248/cpb.29.1777>
29. Vogelmann J. E. 1984. Flavonoids of *Agastache* section *Agastache*. — Biochem. Syst. Ecol. 12(4): 363—366.
[https://doi.org/10.1016/0305-1978\(84\)90067-X](https://doi.org/10.1016/0305-1978(84)90067-X)
30. Park S., Kim N., Yoo G., Kim Y., Lee T. H., Kim S. Y., Kim S. H. 2016. A new flavone glycoside from the leaves of *Agastache rugosa* (Fisch. et C. A. Mey.) Kuntze. — Biochem. Syst. Ecol. 67: 17—21.
<https://doi.org/10.1016/j.bse.2016.05.019>
31. Cao P., Xie P., Wang X., Wang J., Wei J., Kang W. Y. 2017. Chemical constituents and coagulation activity of *Agastache rugosa*. — BMC Complement. Altern. Med. 17: 93
<https://doi.org/10.1186/s12906-017-1592-8>
32. An J. H., Yuk H. J., Kim D. Y., Nho Ch. W., Lee D., Ryu H. W., Oh S. R. 2018. Evaluation of phytochemicals in *Agastache rugosa* (Fisch. et C. A. Mey.) Kuntze at different growth stages by UPLC-QToF-MS. — Ind. Crops Prod. 112: 608—616.
<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.12.050>
33. Hou H. D., Wu Ch. Y., Zhou J., Long F., Shen H., Xu J. D., Zhou Sh. Sh., Mao Q. M., Wei Y. J., Li S. L. 2023. Accumulation patterns of major bioactive components in two chemotypes of *Agastache rugosa* during flower development evaluated by GC-QQQ-MS/MS and UPLC-QTOF-MS/MS analysis. — Ind. Crops Prod. 191(Part A): 115942.
<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115942>
34. Dang J., Lin G., Liu L., Zhou P., Shao Y., Dai Sh., Sang M., Jiang Zh., Liu C., Wu Q. 2022. Comparison of pulegone and estragol chemotypes provides new insight into volatile oil biosynthesis of *Agastache rugosa*. — Front. Plant Sci. 13: 850130.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2022.850130>
35. Choi J. S., Song B. M., Park H. J. 2016. Gas chromatographic analysis and cholinesterase activity of the essential oil from Korean *Agastache rugosa*. — Korean J. Pharmacogn. 47(2): 192—196.
<https://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail/NODE11128802> (In Korean)
36. Zou Z. M., Cong P. Z. 1991. [Studies on the chemical constituents from the roots of *Agastache rugosa*]. — Acta Pharmacol. Sinica (Yao Xue Xue Bao). 26(12): 906—910.
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/1823989/> (In Chinese)
37. Lee H. K., Byon S. J., Oh S. R., Kim J. I., Kim Y. H., Lee Ch. O. 1994. Diterpenoids from the roots of *Agastache rugosa* and their cytotoxic activity. — Korean J. Pharmacogn. 25(4): 319—327.
<https://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail/NODE11127421>
38. Lee H. K., Oh S. R., Kim J. I., Kim J. W., Lee Ch. O. 1995. Agastaquinone, a new cytotoxic diterpenoid quinone from *Agastache rugosa*. — J. Nat. Prod. 58(11): 1718—1721.
<https://doi.org/10.1021/np50125a011>
39. Min B. S., Hattori M., Lee H. K., Kim Y. H. 1999. Inhibitory constituents against HIV-1 protease from *Agastache rugosa*. — Arch. Pharm. Res. 22(1): 75—77.
<https://doi.org/10.1007/BF02976440>
40. Fujita Y., Ueda T. 1957. [Miscellaneous Contributions to the Essential Oils of the Plants from Various Territories. VI. Essential Oil of *Agastache rugosa* O. Kuntze. Part 3]. — Nippon Kagaku Zasshi. 78(10): 1541—1542.
<https://doi.org/10.1246/nikkashi1948.78.1541> (In Japanese)
41. Ahn B., Yang Ch. 1991. Chemical composition of Bangah (*Agastache rugosa* O. Kuntze) herb. — Korean J. Food Sci. and Technology. 23(3): 375—378. 0367-6293(pISSN).
42. Yang D., Wang F., Su J., Zeng L. 2000. [Chemical composition of essential oil stems, leaves and flowers of *Agastache rugosa*]. — J. Chin. Med. Mat. 23(3): 149—151. PMID: 12575134.
43. Yamani H., Mantri N., Morrison P. D., Pang E. 2014. Analysis of volatile organic compounds from leaves, flowers spikes, and nectar of Australian grown *Agastache rugosa*. — BMC Complement. Altern. Med. 14: 495.
<https://doi.org/10.1186/1472-6882-14-495>
44. Kim J., Jang J., Kwon O. 2023. P23-043-23 Effects and Safety of *Agastache rugosa* with supervised resistance exercise in middle-aged healthy adults. — Current developments in nutrition. 7(Suppl.1): 20—21.
<https://doi.org/10.1016/j.cdnut.2023.100154>
45. Hong S., Cha K. H., Kwon D. Y., Son Y. J., Kim S. M., Choi J.-H., Yoo G., Nho C. W. 2021. *Agastache rugosa* ethanol extract suppresses bone loss via induction of osteoblast differentiation with alteration of gut microbiota. — Phyto-medicine. 84: 153517.
<https://doi.org/10.1016/j.phymed.2021.153517>

46. Jang S.-A., Hwang Y.-H., Kim T., Yang H., Lee J., Seo Y. H., Park J.-I., Ha H. 2020. Water extract of *Agastache rugosa* prevents ovariectomy-induced bone loss by inhibiting osteoclastogenesis. — *Foods*. 9(9): 1181. <https://doi.org/10.3390/foods9091181>
47. Nam H.-H., Kim J. S., Lee J., Seo Y. H., Kim H. S., Ryu S. M., Choi G., Moon B. Ch., Lee A. Y. 2020. Pharmacological effects of *Agastache rugosa* against gastritis using a network pharmacology approach. — *Biomolecules*. 10(9): 1298. <https://doi.org/10.3390/biom10091298>
48. Nan L., Nam H.-H., Choo B.-K. 2022. *Agastache rugosa* inhibits LPS-induced by RAW264.7 cellular inflammation and ameliorates oesophageal tissue damage from acute reflux esophagitis in rats. — *Food Biosci*. 50(B): 102187. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.102187>
49. Gong H., Li S., He L., Kasimu R. 2017. Microscopic identification and *in vitro* activity of *Agastache rugosa* (Fisch. et Mey.) from Xinjiang, China. — *BMC Complement Altern. Med*. 17: 95. <https://doi.org/10.1186/s12906-017-1605-7>
50. Moon H., Kim M. J., Son H. J., Kweon H.-J., Kim J. T., Kim Y., Shim J., Suh B.-C., Rhyu M.-R. 2015. Five hTRPA1 agonists found in indigenous Korean mint, *Agastache rugosa*. — *PLoS One*. 10(5): e0127060. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0127060>
51. Oh Y., Lim H.-W., Huang Y.-H., Kwon H.-S., Jin C. D., Kim K., Lim C.-J. 2016. Attenuating properties of *Agastache rugosa* leaf extract against ultraviolet-B-induced photoaging via up-regulating glutathione and superoxide dismutase in a human keratinocyte cell line. — *J. Photochem. Photobiol. B*. 163: 170—176. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2016.08.026>
52. Shin D., Lee Y., Huang Y.-H., Lim H.-W., Jang K., Kim D.-D., Lim C.-J. 2018. Probiotic fermentation augments the skin anti-photoaging properties of *Agastache rugosa* through up-regulating antioxidant components in UV-B-irradiated HaCaT keratinocytes. — *BMC Complement Altern. Med*. 18(1): 196. <https://doi.org/10.1186/s12906-018-2194-9>
53. Yun M.-S., Kim Ch., Hwang J.-K. 2019. *Agastache rugosa* Kuntze attenuates UVB-induced photoaging in hairless mice through the regulation of MAPK/AP-1 and TGF- β / Smad pathways. — *J. Microbiol. Biotechnol*. 29(9): 1349—1360. <https://doi.org/10.4014/jmb.1908.08020>
54. Seo H., Kim Ch., Kim M.-B., Hwang J.-K. 2019. Anti-photoaging effect of Korean mint (*Agastache rugosa* Kuntze) extract on UVB-irradiated human dermal fibroblasts. — *Prev. Nutr. Food Sci*. 24(4): 442—448. <https://doi.org/10.3746/pnf.2019.24.4.442>
55. Lee Y., Lim H. W., Ryu I. W., Huang Y. H., Park M., Chi Y. M., Lim C. J. 2020. Anti-inflammatory, barrier-protective, and antiwrinkle properties of *Agastache rugosa* Kuntze in human epidermal keratinocytes. — *Biomed. Res. Int*. 2020: 1759067. <https://doi.org/10.1155/2020/1759067>
56. Park C. H., Yeo H. J., Baskar T. B., Park Y. E., Park J. S., Lee S. Y., Park S. U. 2019. *In vitro* antioxidant and antimicrobial properties of flower, leaf, and stem extracts of Korean mint. — *Antioxidants*. 8(3): 75. <https://doi.org/10.3390/antiox8030075>
57. Haiyan G., Lijuan H., Shaoyu L., Chen Z., Ashraf M. A. 2016. Antimicrobial, antibiofilm and antitumor activities of essential oil of *Agastache rugosa* from Xinjiang, China. — *Saudi J. Biol. Sci*. 23(4): 524—530. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2016.02.020>
58. Yeo H. J., Kwon M. J., Han S. Y., Jeong J. C., Kim C. Y., Park S. U., Park C. H. 2023. Effects of carbohydrates on rosmarinic acid production and *in vitro* antimicrobial activities in hairy root cultures of *Agastache rugosa*. — *Plants (Basel)*. 12(4): 797. <https://doi.org/10.3390/plants12040797>
59. Pan Y.-N., Zhao Y., Zhao R.-J., Yang X.-R., Li T.-C., Hu T.-T., Yang Y., Zhao J.-H. 2018. [Effects of five Chinese herbs on human demodicid mites *in vitro*]. — *Chin. J. Schisto. Control*. 31(3): 301—304. <https://www.zgxfz.com/EN/Y2019/V31/I3/301>
60. Sun J., Sun P., Kang C., Zhang L., Guo L., Kou Y. 2022. Chemical composition and biological activities of essential oils from six Lamiaceae folk medicinal plants. — *Front. Plant Sci*. 13: 919294. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.919294>
61. Hong M., Jang H., Bo S., Kim M., Deepa P., Park J., Sowndhararajan K., Kim S. 2022. Changes in human electroencephalographic activity in response to *Agastache rugosa* essential oil exposure. — *Behav. Sci*. 12(7): 238. <https://doi.org/10.3390/bs12070238>
62. Desta K. T., Kim G.-S., Kim Y.-H., Lee W. S., Lee S. J., Jin J. S., El-Aty A. M. A., Shin H.-C., Shim J.-H., Shin S. C. 2016. The polyphenolic profiles and antioxidant effects of *Agastache rugosa* Kuntze (Banga) flower, leaf, stem and root. — *Biomed. Chromatogr*. 30(2): 225—231. <https://doi.org/10.1002/bmc.3539>

63. Lee H. W., Ryu H. W., Baek S. C., Kang M.-G., Park D., Han H.-Y., An J. H., Oh S.-R., Kim H. 2017. Potent inhibitions of monoamine oxidase A and B by acacetin and its 7-*O*-(6-*O*-malonylglucoside) derivative from *Agastache rugosa*. — Int. J. Biol. Macromol. 104(Pt A): 547–553.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.06.076>
64. Yuk H. J., Ryu H. W., Kim D.-S. 2023. Potent xanthine oxidase inhibitory activity of constituents of *Agastache rugosa* (Fisch. et C. A. Mey.) Kuntze. — Foods. 12(3): 573.
<https://doi.org/10.3390/foods12030573>
65. Kim N. Y., Kwon H. S., Lee H. Y. 2017. Effect of inhibition on tyrosinase and melanogenesis of *Agastache rugosa* Kuntze by lactic acid bacteria fermentation. — J. Cosmet. Dermatol. 16(3): 407–415.
<https://doi.org/10.1111/jocd.12264>
66. Kwon E.-B., Kang M.-J., Ryu H. W., Lee S., Lee J.-W., Lee M. K., Lee H.-S., Lee S. U., Oh S.-R., Kim M.-O. 2020. Acacetin enhances glucose uptake through insulin-independent GLUT4 translocation in L6 myotubes. — Phyto-medicine. 68: 153178.
<https://doi.org/10.1016/j.phymed.2020.153178>
67. Wang X., Perumalsamy H., Kwon H. W., Na Y.-E., Ahn Y.-J. 2015. Effects and possible mechanisms of action of acacetin on the behavior and eye morphology of *Drosophila* models of Alzheimer's disease. — Sci. Rep. 5: 16127.
<https://doi.org/10.1038/srep16127>
68. Cho H.-I., Park J.-H., Choi H.-S., Kwak J. H., Lee D.-U., Lee S. K., Lee S.-M. 2014. Protective mechanisms of acacetin against D-galactosamine and lipopolysaccharide-induced fulminant hepatic failure in mice. — J. Nat. Prod. 77(11): 2497–2503.
<https://doi.org/10.1021/np500537x>
69. Cho H.-I., Hong J.-M., Choi J.-W., Choi H.-S., Kwak J. H., Lee D.-U., Lee S. K., Lee S.-M. 2015. β-Caryophyllene alleviates D-galactosamine and lipopolysaccharide-induced hepatic injury through suppression of the TLR4 and RAGE signaling pathways. — Eur. J. Pharmacol. 764: 613–621.
<https://doi.org/10.1016/j.ejphar.2015.08.001>
70. Park S.-J., Lee K., Kang M.-A., Kim T.-H., Jang H.-J., Ryu H. W., Oh S.-R., Lee H.-J. 2021. Tilianin attenuates HDM-induced allergic asthma by suppressing Th2-immune responses via downregulation of IRF4 in dendritic cells. — Phytomedicine. 80: 153392.
<https://doi.org/10.1016/j.phymed.2020.153392>
71. Sarheed M. M., Rajabi F., Kunert M., Boland W., Wetters S., Miadowitz K., Kaźmierczak A., Sahi V. P., Nick P. 2020. Cellular base of mint allelopathy: menthone affects plant microtubules. — Front. Plant Sci. 11: 546345.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2020.546345>

Secondary Metabolites and Biological Activity of *Agastache Rugosa* (Lamiaceae)

© 2024. **L. M. Belenovskaya, A. A. Naumenko***

Komarov Botanical Institute RAS, Saint-Petersburg, Russia

*e-mail: ANaumenko@binran.ru

Abstract — As a result of summarizing the literature data on *Agastache rugosa* (Fisch. et C. A. Mey.) Kuntze (Lamiaceae), it was shown that the species is characterized by phenylpropanoid and terpenoid metabolites. In the aboveground parts of *A. rugosa* the following phenolic compounds were found: simple phenols, phenolcarboxylic acids, lignans, flavonoids and coumarins. In *A. rugosa* essential oil, the terpenoid compounds are represented by mono- and sesquiterpenoids, as well as di- and triterpenoids. Various aspects of the biological activity of the species and its components are considered. Extracts of *A. rugosa*, as well as their individual components, have varied bioactivity like antioxidant, anticancer, anti-inflammatory, antiviral, antibacterial, antimicrobial, and antifungal.

Keywords: *Agastache rugosa*, component composition, secondary metabolites, biological activity

ACKNOWLEDGMENTS

This work was supported by the institutional research project AAAA-A19-119031290052-1 of the Komarov Botanical Institute of the Russian Academy of Sciences.

REFERENCES

1. Hong M., Deepa P., Lee K.-Y., Kim K., Sowndhararajan K., Kim S. 2022. Chemical diversity of essential oils from Korean native populations of *Agastache rugosa* (Korean mint). — *Molecules*. 27(19): 6341. <https://doi.org/10.3390/molecules27196341>
2. Probatova N. S., Krestovskaya T. V. 1995. Lamiaceae. — In: [Vascular plants of the Soviet Far East]. Vol. 7. St. Petersburg. P. 294—379. (In Russian)
3. Suh Y. 2007. Gen. *Agastache*. — In: The genera of vascular plants of Korea. Seoul. P. 823.
4. Yeo H. J., Park C. H., Park Y. E., Hyeon H., Kim J. K., Lee S. Y., Park S. U. 2021. Metabolic profiling and antioxidant activity during flower development in *Agastache rugosa*. — *Physiol. Mol. Biol. Plants*. 27(3): 445—455. <https://doi.org/10.1007/s12298-021-00945-z>
5. Anand S., Pang E., Livanos G., Mantri N. 2018. Characterization of physico-chemical properties and antioxidant capacities of bioactive honey produced from Australian grown *Agastache rugosa* and its correlation with colour and poly-phenol content. — *Molecules*. 23(1): 108. <https://doi.org/10.3390/molecules23010108>
6. Fujita S., Fujita Y. 1972. Miscellaneous contributions to the essential oils of the plants from various territories. XXIX. Essential oil of *Agastache rugosa* O. Kuntze (5). Sesquiterpene hydrocarbons in the oil. — *Yakugaku Zasshi* 92(7): 908—909. https://doi.org/10.1248/yakushi1947.92.7_908
7. Fujita S., Fujita Y. 1973. Miscellaneous contributions of the essential oils of the plants from various territories. XXX-III. Essential oil of *Agastache rugosa* O. Kuntze (6). — *Yakugaku Zasshi*. 93(12): 1679—1681. https://doi.org/10.1248/yakushi1947.93.12_1679
8. Ahn B., Yang Ch. B. 1991. Volatile flavor components of Bangah (*Agastache rugosa* O. Kuntze) herb. — *Korean J. Food Sci. Technology*. 23(5): 582—586. https://www.kjfst.or.kr/journal/view.html?uid=3670&page=582&s_v=23&s_n=5
9. Charles D. J., Simon J. E., Widrlechner M. P. 1991. Characterization of the essential oil constituents of *Agastache* species. — *J. Agric. Food Chem.* 39(11): 1946—1949. <https://doi.org/10.1021/jf00011a011>
10. Weyerstahl P., Marschall H., Manteuffel E., Huneck S. 1992. Volatile constituents of *Agastache rugosa*. — *J. Essent. Oil Res.* 4(6): 585—587. <https://doi.org/10.1080/10412905.1992.9698139>
11. Dũng N. X., Cu L. D., Thái N. H., Mõi L. D., Hac L. V., Leclercq P. A. 1996. Constituents of the leaf and flower oils of *Agastache rugosa* (Fisch. et Mey.) O. Kuntze from Vietnam. — *J. Essent. Oil Res.* 8(2): 135—138. <https://doi.org/10.1080/10412905.1996.9700580>
12. Yang D., Wang F., Su J., Zeng L. 2000. [Chemical composition of essential oil in stems, leaves and flowers of *Agastache rugosa*]. — *J. Chin. Med. Mat.* 23(3): 149—151. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12575134/> (In Chinese)
13. Wang J. C. 2010. [GC—MS—Analysis of chemical composition of volatile oil from *Agastache rugosa*]. — *Food Sci.* 31(8): 223—225. <https://www.spkx.net.cn/EN/Y2010/V31/I8/223>
14. Gong H., Zhou X., Zhu M., Ma X., Zhang X., Tian Sh. 2012. Constituents of essential oil isolated from the dried flower and leaf of *Agastache rugosa* (Fisch. et C. A. Mey) O. Kuntze from Xinjiang, in China. — *J. Essent. Oil Bearing Plants*. 15(4): 534—538. <https://doi.org/10.1080/0972060X.2012.10644084>
15. Lim S. S., Jang J. M., Park W. T., Uddin M. R., Chae S. C., Kim H. H., Park S. U. 2013. Chemical composition of essential oils from flower and leaf of Korean mint, *Agastache rugosa*. — *Asian J. Chem.* 25(8): 4361—4363. <http://doi.org/10.14233/ajchem.2013.13977>
16. Li H. Q., Liu Q. Z., Liu Z. L., Du Sh. Sh., Deng Z. W. 2013. Chemical composition and nematocidal activity of essential oil of *Agastache rugosa* against *Meloidogyne incognita*. — *Molecules*. 18(4): 4170—4180. <https://doi.org/10.3390/molecules18044170>
17. Lee T. H., Park S., Yoo G., Jang Ch., Kim M. H., Kim S. H., Kim S. Y. 2016. Demethyleugenol β -glucopyranoside isolated from *Agastache rugosa* decreases melanin synthesis via down-regulation of MITF and SOX9. — *J. Agric. Food Chem.* 64(41): 7733—7742. <http://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b03256>

18. Seo Y. H., Kang S. Y., Shin J. S., Ryu S. M., Lee A. Y., Choi G. S., Moon B. C., Jang D. S., Shim S. H., Lee D., Lee K. T., Lee J. 2019. Chemical constituents from the aerial parts of *Agastache rugosa* and their inhibitory activities on prostaglandin E2 production in lipopolysaccharide-treated Raw 264.7 macrophages. — J. Nat. Prod. 82(12): 3379—3385. <https://doi.org/10.1021/acs.jnatprod.9b00697>
19. Kim J. B., Kim J. B., Cho K. J., Hwang Y. S., Park R. D. 1999. Isolation, identification and activity of rosmarinic acid, a potent antioxidant extracted from Korean *Agastache rugosa*. — J. Kor. Soc. Agric. Chem. Biotechnol. 42(3): 262—266. <https://koreascience.kr/article/JAKO199903043022025.pdf>
20. Tuan P. A., Park W. T., Xu H., Park N. I., Park S. H. 2012. Accumulation of tilianin and rosmarinic acid and expression of phenylpropanoid biosynthetic genes in *Agastache rugosa*. — J. Agr. Food Chem. 60(23): 5945—5951. <https://doi.org/10.1021/jf300833m>
21. Zielińska S., Kolniak-Ostek J., Dziadas M., Oszmiański J., Matkowski A. 2016. Characterization of polyphenols in *Agastache rugosa* leaves and inflorescences by UPLC-qTOF-MS following FCPC-separation. — J. Liq. Chromatogr. Relat. Technol. 39(4): 209—219. <https://doi.org/10.1080/10826076.2016.1147461>
22. Cao P., Xie P., Wang X., Wang J., Wei J., Kang W. Y. 2017. Chemical constituents and coagulation activity of *Agastache rugosa*. — BMC Complement. Altern. Med. 17: 93. <https://doi.org/10.1186/s12906-017-1592-8>
23. Lee J. J., Lee J. H., Gu M. J., Han J. H., Cho W. K., Ma Y. 2017. *Agastache rugosa* Kuntze extract, containing the active component rosmarinic acid, prevent atherosclerosis through up-regulation of the cyclin-dependent kinase inhibitors p21^{WAF1/CIP1} and p27^{KIP}. — J. Funct. Foods. 30: 30—38. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2016.12.025>
24. Yuk H. J., Won Ryu H. W., Kim D. S. 2023. Potent xanthine oxidase inhibitory activity of constituents of *Agastache rugosa* (Fisch. et C. A. Mey.) Kuntze. — Foods. 12(3): 573. <https://doi.org/10.3390/foods12030573>
25. Zakharov A. M., Dolya V. S., Zakharova O. I., Bessalova A. S., Litvinova N. V. 1988. Essential and fatty oils of *Agastache rugosa*. — Chem. Nat. Compd. 24(3): 384—385. <https://doi.org/10.1007/bf00598595>
26. Lee C. H., Kim N. H., Kho Y. E. 2002. Agastinol and agastenol, novel lignans from *Agastache rugosa* and their evaluation in an apoptosis inhibition assay. — J. Nat. Prod. 65(3): 414—416. <https://doi.org/10.1021/np010425e>
27. Zakharova O. I., Zakharov A. M., Glyzin V. I. 1979. Flavonoids of *Agastache rugosa*. — Chem. Nat. Compd. 15(5): 561—564.
28. Itokawa H., Suto K., Takeya K. 1981. Structures of agastachoside and agastachin, new glucosylflavones isolated from *Agastache rugosa*. — Chem. Pharm. Bull. 29(6): 1777—1779. <https://doi.org/10.1248/cpb.29.1777>
29. Vogelmann J. E. 1984. Flavonoids of *Agastache* section *Agastache*. — Biochem. Syst. Ecol. 12(4): 363—366. [https://doi.org/10.1016/0305-1978\(84\)90067-X](https://doi.org/10.1016/0305-1978(84)90067-X)
30. Park S., Kim N., Yoo G., Kim Y., Lee T. H., Kim S. Y., Kim S. H. 2016. A new flavone glycoside from the leaves of *Agastache rugosa* (Fisch. et C. A. Mey.) Kuntze. — Biochem. Syst. Ecol. 67: 17—21. <https://doi.org/10.1016/j.bse.2016.05.019>
31. Cao P., Xie P., Wang X., Wang J., Wei J., Kang W. Y. 2017. Chemical constituents and coagulation activity of *Agastache rugosa*. — BMC Complement. Altern. Med. 17: 93. <https://doi.org/10.1186/s12906-017-1592-8>
32. An J. H., Yuk H. J., Kim D. Y., Nho Ch. W., Lee D., Ryu H. W., Oh S. R. 2018. Evaluation of phytochemicals in *Agastache rugosa* (Fisch. et C. A. Mey.) Kuntze at different growth stages by UPLC-QTOF-MS. — Ind. Crops Prod. 112: 608—616. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.12.050>
33. Hou H. D., Wu Ch. Y., Zhou J., Long F., Shen H., Xu J. D., Zhou Sh. Sh., Mao Q. M., Wei Y. J., Li S. L. 2023. Accumulation patterns of major bioactive components in two chemotypes of *Agastache rugosa* during flower development evaluated by GC-QQQ-MS/MS and UPLC-QTOF-MS/MS analysis. — Ind. Crops Prod. 191(Part A): 115942. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115942>

34. Dang J., Lin G., Liu L., Zhou P., Shao Y., Dai Sh., Sang M., Jiang Zh., Liu C., Wu Q. 2022. Comparison of pulegone and estragol chemotypes provides new insight into volatile oil biosynthesis of *Agastache rugosa*. — Front. Plant Sci. 13: 850130.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2022.850130>
35. Choi J. S., Song B. M., Park H. J. 2016. Gas chromatographic analysis and cholinesterase activity of the essential oil from Korean *Agastache rugosa*. — Korean J. Pharmacogn. 47(2): 192—196.
<https://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail/NODE11128802> (In Korean)
36. Zou Z. M., Cong P. Z. 1991. [Studies on the chemical constituents from the roots of *Agastache rugosa*]. — Acta Pharmacol. Sinica (Yao Xue Xue Bao). 26(12): 906—910.
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/1823989/> (In Chinese)
37. Lee H. K., Byon S. J., Oh S. R., Kim J. I., Kim Y. H., Lee Ch. O. 1994. Diterpenoids from the roots of *Agastache rugosa* and their cytotoxic activity. — Korean J. Pharmacogn. 25(4): 319—327.
<https://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail/NODE11127421>
38. Lee H. K., Oh S. R., Kim J. I., Kim J. W., Lee Ch. O. 1995. Agastaquinone, a new cytotoxic diterpenoid quinone from *Agastache rugosa*. — J. Nat. Prod. 58(11): 1718—1721.
<https://doi.org/10.1021/np50125a011>
39. Min B. S., Hattori M., Lee H. K., Kim Y. H. 1999. Inhibitory constituents against HIV-1 protease from *Agastache rugosa*. — Arch. Pharm. Res. 22(1): 75—77.
<https://doi.org/10.1007/BF02976440>
40. Fujita Y., Ueda T. 1957. [Miscellaneous Contributions to the Essential Oils of the Plants from Various Territories. VI. Essential Oil of *Agastache rugosa* O. Kuntze. Part 3]. — Nippon Kagaku Zasshi. 78(10): 1541—1542.
<https://doi.org/10.1246/nikkashi1948.78.1541> (In Japanese)
41. Ahn B., Yang Ch. 1991. Chemical composition of Bangah (*Agastache rugosa* O. Kuntze) herb. — Korean J. Food Sci. and Technology. 23(3): 375—378. 0367-6293(pISSN).
42. Yang D., Wang F., Su J., Zeng L. 2000. [Chemical composition of essential oil stems, leaves and flowers of *Agastache rugosa*]. — J. Chin. Med. Mat. 23(3): 149—151. PMID: 12575134.
43. Yamani H., Mantri N., Morrison P. D., Pang E. 2014. Analysis of volatile organic compounds from leaves, flowers spikes, and nectar of Australian grown *Agastache rugosa*. — BMC Complement. Altern. Med. 14: 495.
<https://doi.org/10.1186/1472-6882-14-495>
44. Kim J., Jang J., Kwon O. 2023. P23-043-23 Effects and Safety of *Agastache rugosa* with supervised resistance exercise in middle-aged healthy adults. — Current developments in nutrition. 7(Suppl.1): 20—21.
<https://doi.org/10.1016/j.cdnut.2023.100154>
45. Hong S., Cha K. H., Kwon D. Y., Son Y. J., Kim S. M., Choi J.-H., Yoo G., Nho C. W. 2021. *Agastache rugosa* ethanol extract suppresses bone loss via induction of osteoblast differentiation with alteration of gut microbiota. — Phyto-medicine. 84: 153517.
<https://doi.org/10.1016/j.phymed.2021.153517>
46. Jang S.-A., Hwang Y.-H., Kim T., Yang H., Lee J., Seo Y. H., Park J.-I., Ha H. 2020. Water extract of *Agastache rugosa* prevents ovariectomy-induced bone loss by inhibiting osteoclastogenesis. — Foods. 9(9): 1181.
<https://doi.org/10.3390/foods9091181>
47. Nam H.-H., Kim J. S., Lee J., Seo Y. H., Kim H. S., Ryu S. M., Choi G., Moon B. Ch., Lee A. Y. 2020. Pharmacological effects of *Agastache rugosa* against gastritis using a network pharmacology approach. — Biomolecules. 10(9): 1298.
<https://doi.org/10.3390/biom10091298>
48. Nan L., Nam H.-H., Choo B.-K. 2022. *Agastache rugosa* inhibits LPS-induced by RAW264.7 cellular inflammation and ameliorates oesophageal tissue damage from acute reflux esophagitis in rats. — Food Biosci. 50(B): 102187.
<https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.102187>
49. Gong H., Li S., He L., Kasimu R. 2017. Microscopic identification and *in vitro* activity of *Agastache rugosa* (Fisch. et Mey) from Xinjiang, China. — BMC Complement Altern. Med. 17: 95.
<https://doi.org/10.1186/s12906-017-1605-7>
50. Moon H., Kim M. J., Son H. J., Kweon H.-J., Kim J. T., Kim Y., Shim J., Suh B.-C., Rhyu M.-R. 2015. Five hTRPA1 agonists found in indigenous Korean mint, *Agastache rugosa*. — PLoS One. 10(5): e0127060.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0127060>

51. Oh Y., Lim H.-W., Huang Y.-H., Kwon H.-S., Jin C. D., Kim K., Lim C.-J. 2016. Attenuating properties of *Agastache rugosa* leaf extract against ultraviolet-B-induced photoaging via up-regulating glutathione and superoxide dismutase in a human keratinocyte cell line. — J. Photochem. Photobiol. B. 163: 170—176.
<https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2016.08.026>
52. Shin D., Lee Y., Huang Y.-H., Lim H.-W., Jang K., Kim D.-D., Lim C.-J. 2018. Probiotic fermentation augments the skin anti-photoaging properties of *Agastache rugosa* through up-regulating antioxidant components in UV-B-irradiated HaCaT keratinocytes. — BMC Complement Altern. Med. 18(1): 196.
<https://doi.org/10.1186/s12906-018-2194-9>
53. Yun M.-S., Kim Ch., Hwang J.-K. 2019. *Agastache rugosa* Kuntze attenuates UVB-induced photoaging in hairless mice through the regulation of MAPK/AP-1 and TGF- β / Smad pathways. — J. Microbiol. Biotechnol. 29(9): 1349—1360.
<https://doi.org/10.4014/jmb.1908.08020>
54. Seo H., Kim Ch., Kim M.-B., Hwang J.-K. 2019. Anti-photoaging effect of Korean mint (*Agastache rugosa* Kuntze) extract on UVB-irradiated human dermal fibroblasts. — Prev. Nutr. Food Sci. 24(4): 442—448.
<https://doi.org/10.3746/pnf.2019.24.4.442>
55. Lee Y., Lim H. W., Ryu I. W., Huang Y. H., Park M., Chi Y. M., Lim C. J. 2020. Anti-inflammatory, barrier-protective, and antiwrinkle properties of *Agastache rugosa* Kuntze in human epidermal keratinocytes. — Biomed. Res. Int. 2020: 1759067.
<https://doi.org/10.1155/2020/1759067>
56. Park C. H., Yeo H. J., Baskar T. B., Park Y. E., Park J. S., Lee S. Y., Park S. U. 2019. *In vitro* antioxidant and antimicrobial properties of flower, leaf, and stem extracts of Korean mint. — Antioxidants. 8(3): 75.
<https://doi.org/10.3390/antiox8030075>
57. Haiyan G., Lijuan H., Shaoyu L., Chen Z., Ashraf M. A. 2016. Antimicrobial, antibiofilm and antitumor activities of essential oil of *Agastache rugosa* from Xinjiang, China. — Saudi J. Biol. Sci. 23(4): 524—530.
<https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2016.02.020>
58. Yeo H. J., Kwon M. J., Han S. Y., Jeong J. C., Kim C. Y., Park S. U., Park C. H. 2023. Effects of carbohydrates on rosmarinic acid production and *in vitro* antimicrobial activities in hairy root cultures of *Agastache rugosa*. — Plants (Basel). 12(4): 797.
<https://doi.org/10.3390/plants12040797>
59. Pan Y.-N., Zhao Y., Zhao R.-J., Yang X.-R., Li T.-C., Hu T.-T., Yang Y., Zhao J.-H. 2018. [Effects of five Chinese herbs on human demodicid mites *in vitro*]. — Chin. J. Schisto. Control. 31(3): 301—304.
<https://www.zgxfz.com/EN/Y2019/V31/I3/301>
60. Sun J., Sun P., Kang C., Zhang L., Guo L., Kou Y. 2022. Chemical composition and biological activities of essential oils from six Lamiaceae folk medicinal plants. — Front. Plant Sci. 13: 919294.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2022.919294>
61. Hong M., Jang H., Bo S., Kim M., Deepa P., Park J., Sowndhararajan K., Kim S. 2022. Changes in human electroencephalographic activity in response to *Agastache rugosa* essential oil exposure. — Behav. Sci. 12(7): 238.
<https://doi.org/10.3390/bs12070238>
62. Desta K. T., Kim G.-S., Kim Y.-H., Lee W. S., Lee S. J., Jin J. S., El-Aty A. M. A., Shin H.-C., Shim J.-H., Shin S. C. 2016. The polyphenolic profiles and antioxidant effects of *Agastache rugosa* Kuntze (Banga) flower, leaf, stem and root. — Biomed. Chromatogr. 30(2): 225—231.
<https://doi.org/10.1002/bmc.3539>
63. Lee H. W., Ryu H. W., Baek S. C., Kang M.-G., Park D., Han H.-Y., An J. H., Oh S.-R., Kim H. 2017. Potent inhibitions of monoamine oxidase A and B by acacetin and its 7-*O*-(6-*O*-malonylglucoside) derivative from *Agastache rugosa*. — Int. J. Biol. Macromol. 104(Pt A): 547—553.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.06.076>
64. Yuk H. J., Ryu H. W., Kim D.-S. 2023. Potent xanthine oxidase inhibitory activity of constituents of *Agastache rugosa* (Fisch. et C. A. Mey.) Kuntze. — Foods. 12(3): 573.
<https://doi.org/10.3390/foods12030573>
65. Kim N. Y., Kwon H. S., Lee H. Y. 2017. Effect of inhibition on tyrosinase and melanogenesis of *Agastache rugosa* Kuntze by lactic acid bacteria fermentation. — J. Cosmet. Dermatol. 16(3): 407—415.
<https://doi.org/10.1111/jocd.12264>

66. Kwon E.-B., Kang M.-J., Ryu H. W., Lee S., Lee J.-W., Lee M. K., Lee H.-S., Lee S. U., Oh S.-R., Kim M.-O. 2020. Acacetin enhances glucose uptake through insulin-independent GLUT4 translocation in L6 myotubes. — *Phyto-medicine*. 68: 153178.
<https://doi.org/10.1016/j.phymed.2020.153178>
67. Wang X., Perumalsamy H., Kwon H. W., Na Y.-E., Ahn Y.-J. 2015. Effects and possible mechanisms of action of acacetin on the behavior and eye morphology of *Drosophila* models of Alzheimer's disease. — *Sci. Rep.* 5: 16127.
<https://doi.org/10.1038/srep16127>
68. Cho H.-I., Park J.-H., Choi H.-S., Kwak J. H., Lee D.-U., Lee S. K., Lee S.-M. 2014. Protective mechanisms of acacetin against D-galactosamine and lipopolysaccharide-induced fulminant hepatic failure in mice. — *J. Nat. Prod.* 77(11): 2497—2503.
<https://doi.org/10.1021/np500537x>
69. Cho H.-I., Hong J.-M., Choi J.-W., Choi H.-S., Kwak J. H., Lee D.-U., Lee S. K., Lee S.-M. 2015. β -Caryophyllene alleviates D-galactosamine and lipopolysaccharide-induced hepatic injury through suppression of the TLR4 and RAGE signaling pathways. — *Eur. J. Pharmacol.* 764: 613—621.
<https://doi.org/10.1016/j.ejphar.2015.08.001>
70. Park S.-J., Lee K., Kang M.-A., Kim T.-H., Jang H.-J., Ryu H. W., Oh S.-R., Lee H.-J. 2021. Tilianin attenuates HDM-induced allergic asthma by suppressing Th2-immune responses via downregulation of IRF4 in dendritic cells. — *Phytomedicine*. 80: 153392.
<https://doi.org/10.1016/j.phymed.2020.153392>
71. Sarheed M. M., Rajabi F., Kunert M., Boland W., Wetters S., Miadowitz K., Kaźmierczak A., Sahi V. P., Nick P. 2020. Cellular base of mint allelopathy: menthone affects plant microtubules. — *Front. Plant Sci.* 11: 546345.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2020.546345>

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И СРОКА ХРАНЕНИЯ НА КАЧЕСТВО СЕМЯН ТРЕХ ВИДОВ РОДА *HYPERICUM* (HYPERICACEAE)

© 2024 г. Г. Е. Левицкая

Институт биофизики клетки РАН, г. Пущино, Россия
e-mail: levitskaya_g@mail.ru

Поступила в редакцию 29.08.2023

После доработки 22.02.2024

Принята к публикации 09.03.2024

Изучено влияние длительного хранения при разной температуре на семена трех видов рода *Hypericum* L. (Hypericaceae): *H. perforatum* L., *H. maculatum* Crantz. и *H. hirsutum* L. Качество семян оценивали по лабораторной всхожести и динамике прорастания — исходной, после кратковременной криоконсервации в течение 1 мес. при -196°C (в жидком азоте) и далее 1 раз в 3 г. до 18 лет хранения при температуре 5°C , -20°C и -196°C . После 9 лет хранения семян и далее наблюдали развитие проростков. На примере *H. hirsutum* оценили влияние продолжительности предварительного пребывания семян в комнатных условиях на их старение при дальнейшем длительном хранении при указанных температурах. Кратковременная криоконсервация не ухудшила качество семян всех изученных видов. После 18 лет хранения посевные качества лучше всего сохранили семена всех 3 видов, хранившиеся при температуре -196°C , хуже всего — при температуре -20°C . Всхожесть семян, находившихся при всех указанных температурах, изменилась незначительно; скорость прорастания снизилась в результате хранения при температуре -20°C и 5°C . В результате длительного хранения семян изученных видов при температуре -20°C уменьшились размеры проростков; у *H. hirsutum* также значительно уменьшилось количество проростков, развивающихся после проклеивания корня. Увеличение продолжительности предварительного пребывания семян в комнатных условиях привело к ускорению старения семян, хранящихся как при 5°C , так и при -20°C . Хранение при температуре -196°C обеспечило сильное снижение скорости старения семян независимо от длительности их предварительного пребывания в теплых условиях. Семена после хранения при -196°C были более чувствительны к условиям набухания и проращивания, чем семена, хранившиеся при 5°C и -20°C . Устойчивость к высушиванию и старению у семян *H. hirsutum* ниже, чем у семян *H. perforatum* и *H. maculatum*. Разработаны рекомендации по длительному хранению и мониторингу качества семян исследованных видов рода *Hypericum*.

Ключевые слова: *Hypericum*, семена, длительное хранение, старение, температура хранения, криоконсервация, всхожесть, динамика прорастания, развитие проростков

DOI: 10.31857/S0033994624020049, EDN: PYMNDB

Сохранение генофонда лекарственных растений вызывает все больший интерес. Создание банков семян является наиболее эффективным методом сохранения генетических ресурсов растений *ex situ*. Долгосрочное хранение семян имеет большое значение для сохранения генетических ресурсов растений в таких банках. Банки семян стремятся оптимизировать условия хранения, чтобы как можно больше отсрочить старение семян. Поскольку большинство таких генетических банков имеют относительно короткую историю, эмпирических данных о долговечности семян при хранении *ex situ* мало. Экспериментальных данных по результатам длительного хранения семян при ультранизких температурах (в жидком азоте или его парах) пока совсем мало, и они неоднозначны [1, 2]. Для про-

гнозирования всхожести семян после определенных сроков хранения на основе исходной жизнеспособности, температуры, влажности, времени хранения и информации о видах были разработаны модели долговечности семян [3]. Однако сравнение результатов долгосрочных экспериментов с прогнозируемой всхожестью показало, что наблюдаемые значения были намного ниже, чем прогнозируемые [4, 5].

Для определения качества семян культурных растений используют показатели всхожести за определенный срок и энергии прорастания, определяемой как процент проросших семян за короткий срок. Для семян дикорастущих растений в банках семян установить сроки для определения всхожести и энергии прорастания невозможно

по причине их высокой внутривидовой изменчивости [6, 7] и изменения динамики прорастания в результате длительного хранения.

Род *Hypericum*, включающий около 500 видов, является одним из самых политипных родов растений среди покрытосеменных [8]. Представители рода распространены практически на всех континентах, за исключением полюсов, пустынь и низкогорных тропических областей [9].

В России надземная часть (трава) зверобоя (*H. perforatum*, *H. maculatum*, *H. hirsutum*) издавна широко используется в народной медицине при ревматизме, туберкулезе, гастрите, заболеваниях печени, кровотечениях, различного рода воспалительных процессах, фурункулезе, стоматите [10, 11]. В Западной Европе *H. perforatum* — народное средство для лечения депрессии [12].

Зверобой включен в Британскую фармакопею лекарственных растений [13], Американскую фармакопею лекарственных растений [14], Европейскую фармакопею [15], Государственную фармакопею Российской Федерации [16]. В соответствии с последней лекарственным сырьем является собранная в фазу цветения и высушенная надземная часть (трава) дикорастущих и культивируемых многолетних представителей этого рода: *H. perforatum* и *H. maculatum*.

Многие представители рода *Hypericum* известны как продуценты фармакологически важных поликетидов, а именно нафтодиантронов и флороглюцинолов [12]. Экстракты *H. perforatum* и отдельные вещества из его состава (гиперицин, гиперфорин, аментофлавоны и др.) проявляют антидепрессивную, нейропротекторную, ноотропную, анксиолитическую активность, обладают антибактериальными, цитотоксическими и противовоспалительными свойствами, оказывают анальгезирующее и гипогликемическое действие [17, 18]. Изучение компонентного состава, лекарственных свойств и механизмов терапевтического действия различных видов рода *Hypericum*, в том числе *H. perforatum* и *H. hirsutum*, активно продолжается [18–20].

Основными задачами нашей работы были:

— оценить влияние длительного хранения при различной температуре (–196, –20, 5 °C) на семена трех видов рода *Hypericum* (зверобой продырявленный — *H. perforatum* L., зверобой пятнистый — *H. maculatum* Crantz., зверобой волосистый — *H. hirsutum* L.);

— разработать рекомендации по мониторингу качества семян этих видов при их длительном хранении.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Плод видов рода *Hypericum* — септицидная коробочка; семена мелкие, цилиндрические с коротким оттянутым носиком, с крупным прямым зародышем. Эндосперм редуцирован до 1–2 слоев клеток.

Семена трех видов рода *Hypericum* (*H. perforatum*, *H. maculatum*, *H. hirsutum*) были собраны в сентябре 2001 г. в природных ценопопуляциях на территории городского округа Пущино Московской обл. Ценопопуляции всех трех видов произрастают по правому борту долины р. Оки: *H. perforatum* и *H. hirsutum* — на остепненном лугу (ценопопуляции граничат друг с другом), *H. maculatum* — на сыром лугу в полукилометре от них. С момента сбора до помещения в условия длительного хранения семена находились 18 мес. в комнатных условиях при температуре 18–24 °C (2 мес. до 30 °C) и относительной влажности воздуха 25–60%. Искусственное подсушивание семян не применяли. Перед закладкой семян на длительное хранение были определены их размеры (среднее 30 шт.), масса (среднее трех взвешиваний 100 шт.), влажность (высушиванием при 105 °C, среднее трех проб).

Качество семян оценивали по их лабораторной всхожести и динамике прорастания. Динамика прорастания семян выборки (скорость прорастания и ее изменения за время прорастания) является более чувствительным параметром старения семян по сравнению с их всхожестью. Методика проращивания и определения качества семян была одинаковой для трех видов. Семена проращивали в чашках Петри на ватно-бумажных матрасиках. Увлажняли водопроводной водой с жесткостью около 8 мг/л. Чашки Петри размещали в комнатных условиях на подоконнике окна восточной экспозиции. Температуру проращивания отслеживали. Проросшими считали проклюнувшиеся семена с корнем не менее половины длины семени. Прорастание проверяли 3 раза в неделю до прорастания всех жизнеспособных семян.

Лабораторную всхожесть семян определяли на выборке по 50 шт. в одной чашке Петри в 4-кратной повторности. Для оценки скорости прорастания использовали параметр T^{50} — время, за которое прорастает 50% семян выборки; соответственно, чем больше T^{50} , тем меньше скорость прорастания. Достоверность различий значений оценивали по критерию Стьюдента с уровнем достоверности 0.95.

Непосредственно перед помещением семян на длительное хранение исследовали влияние на них кратковременной, в течение 1 мес., криоконсервации в жидком азоте (ЖА). Определяли всхожесть и динамику прорастания семян. Значение всхожести в контроле к этому опыту является исходным для дальнейшего мониторинга.

Для хранения семена расфасовали порционно, чтобы избежать размораживания всего образца при отборе пробы. Упаковка — пластиковые пробирки с пробками. Пробирки с семенами помещали в емкость с ЖА с температурой -196°C , в морозильник — $-20 \pm 2^{\circ}\text{C}$, в холодильник — $5 \pm 1^{\circ}\text{C}$. Замораживание до -196°C выполняли непосредственным погружением пробирок с семенами в ЖА.

Пробы для оценки качества семян отбирали 1 раз в 3 года до 18 лет хранения. При мониторинге учитывали сезонность прорастания. Пробы семян, хранившихся в ЖА, отбирали в парах азота. Оттаивали семена в комнатных условиях. После указанных сроков хранения определяли лабораторную всхожесть и динамику прорастания семян по той же, что и до хранения, методике. Обращали внимание на температуру, при которой набухают семена (1 сут. после увлажнения), так как в это время идет регидратация и репарация поврежденных клеточных структур, успешность которых, как известно [21], сильно зависит от температуры. Так как семена проращивали в комнатных условиях, освещенность и температура проращивания в разные годы могли различаться. Кроме того, после 6 лет хранения для ускорения прорастания после 6 часов набухания семян при 20°C применили холодную стратификацию при температуре $3 \pm 1^{\circ}\text{C}$ в течение 12 дней. Пробы семян трех видов зверобоя, хранившиеся в раз-

ных условиях определенный срок, проращивали одновременно в одинаковых условиях.

Начиная с 9 и до 18 лет хранения, после проклеивания наблюдали дальнейшее развитие проростков до ювенильной стадии онтогенеза. Проростки развивались в комнатных условиях в чашках Петри на ватно-бумажных матрасиках, увлажненных водопроводной водой. Определяли долю развивающихся после проклеивания корня проростков. Сравнивали по вариантам хранения семян размер проростков на стадии появления первой пары настоящих листьев.

Семена *H. hirsutum* повторно собрали в сентябре 2008 г. в той же, что и ранее, ценопопуляции. С момента сбора они 5 мес. находились в комнатных условиях (температура $20-22^{\circ}\text{C}$, относительная влажность воздуха $25-60\%$), затем были помещены на длительное хранение при различных температурах ($-196, -20 \pm 2, 5 \pm 1^{\circ}\text{C}$). Часть семян этого образца оставили в комнатных условиях при температуре $20-24^{\circ}\text{C}$ (летом до 30°C) и относительной влажности воздуха $25-60\%$. Исходное качество семян этого образца определили весной 2009 г. и далее 1 раз в 3 г. до 12 лет хранения по выше описанной методике одновременно с ранее собранными образцами семян видов рода *Hypericum*.

Все наблюдения проводил один специалист.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Размеры и масса семян трех исследованных видов *Hypericum* существенно различаются между собой (табл. 1). Влажность образцов семян (табл. 1) примерно соответствует рекомендованной для длительного хранения в банках семян ($5-7\%$) [22, 23].

Таблица 1. Характеристики семян трех видов рода *Hypericum*
Table 1. Seed characteristics of three *Hypericum* species

Вид Species	№ образца Sample №	Длительность пребывания в комнатных условиях* до эксперимента, мес. Duration of pre- experimental storage at room conditions*, months	Длина, мм Length, mm	Диаметр, мм Diameter, mm	Масса 100 шт., мг 100 seed weight, mg	Влажность, % Humidity, %
<i>H. perforatum</i> L.	1	18	1.1	0.5	11.8	6.0
<i>H. maculatum</i> Crantz.	1	18	0.8	0.3	4.0	5.8
<i>H. hirsutum</i> L.	1	18	1.0	0.4	7.0	6.5
	2	5	1.0	0.4	7.6	7.4

Примечание. * — Температура $18-24^{\circ}\text{C}$ (летом краткосрочно до 30°C) и относительная влажность воздуха $25-60\%$.
Note. * — Temperature $18-24^{\circ}\text{C}$ (in summer, up to 30°C in some days) and relative air humidity $25-60\%$.

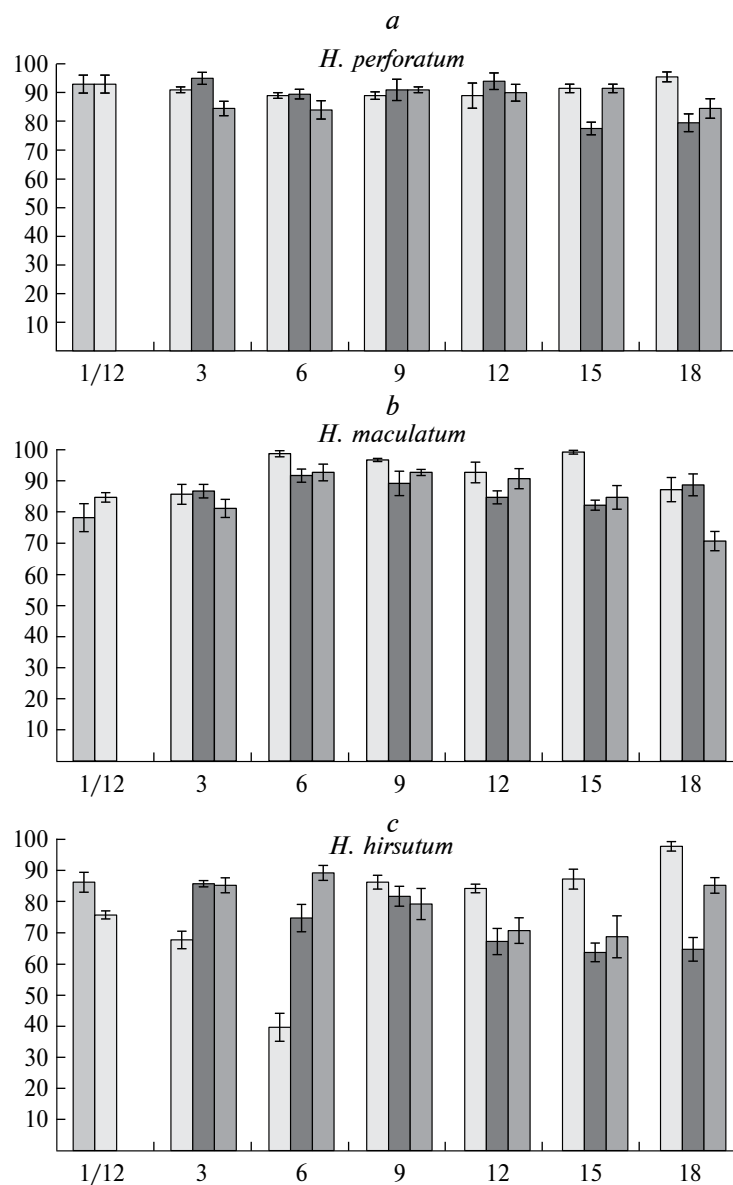


Рис. 1. Лабораторная всхожесть* семян трех видов рода *Hypericum* в зависимости от температуры и срока хранения, %.
a — *H. perforatum*, b — *H. maculatum*, c — *H. hirsutum*.

По горизонтали — срок хранения, г.; по вертикали — всхожесть, %.

Температура хранения:

- Исходное значение
- -196 °C (жидкий азот)
- -20 °C
- 5 °C

* — среднее арифметическое значение выборки 4×50 шт. ± стандартная ошибка среднего.

Fig. 1. Seed laboratory germination (%) of three *Hypericum* species depending on the storage temperature and time.
a — *H. perforatum*, b — *H. maculatum*, c — *H. hirsutum*.

X-axis — storage time, years; y-axis — laboratory germination (%).

Storage temperature:

- Initial value
- -196 °C (liquid nitrogen)
- -20 °C
- 5 °C

* — arithmetic mean for 4×50 seeds ± standard error of mean.

Всхожесть и показатель T^{50} (время, за которое прорастает 50% семян в выборке) семян *H. perforatum* после разных сроков хранения при различных температурах (–196, –20, 5 °C) представлены на рис. 1а и в табл. 2 соответственно. Динамика прорастания семян *H. perforatum* после 18 лет хранения при различных температурах представлена на рис. 2а. После кратковременной, в течение 1 мес., криоконсервации в ЖА, семена *H. perforatum* показали такую же всхожесть и скорость прорастания, как в контроле. После 3-х лет хранения при различных температурах набухание семян происходило при температуре 14 °C, и далее их проращивали в диапазоне температур от 14 до 20 °C. Всхожесть семян сохранилась на исходном уровне во всех трех вариантах. Скорость прорастания во всех вариантах существенно снизилась, что было явно связано с низкой температурой набухания и проращивания, так как семена не прорастали, пока температура не поднялась до 18 °C.

После 6 лет хранения для ускорения прорастания семян *H. perforatum* мы применили холодную стратификацию. На скорость прорастания семян, хранившихся при –20 и 5 °C стратификация не повлияла, у семян, хранившихся в ЖА, скорость прорастания была выше исходной. Всхожесть семян не различалась по вариантам хранения и была на исходном уровне. Далее — после 9, 12, 15 и 18 лет хранения, температура набухания семян (в течение 1 суток после увлажнения) и диапазон температур проращивания в разные годы мало различались. После хранения в ЖА в указанные

сроки семена сохранили всхожесть и скорость прорастания на исходном уровне. Всхожесть семян, хранившиеся при –20 °C в течение 15 лет была ниже, чем хранившихся в ЖА и при 5 °C. Скорость прорастания снизилась после 9 лет хранения и снижалась далее. После 18 лет хранения значение показателя T^{50} было в 3 раза больше исходного. Семена, хранившиеся 18 лет при 5 °C, сохранили всхожесть на исходном уровне. После 6-летнего хранения скорость прорастания сохранялась на уровне исходной. Далее она постепенно снижалась. После 18 лет хранения значение показателя T^{50} было в 2.3 раза выше исходного значения, то есть скорость прорастания семян сильно снизилась.

Более 90% проростков всех трех температурных вариантов после 9 лет хранения семян развивались нормально. В дальнейшем после хранения 12, 15, 18 лет проростки из семян, хранившихся при –20 °C, были мельче проростков из семян, хранившихся при температуре –196 и 5 °C (рис. 3а). Оценивая комплексно всхожесть, динамику прорастания и развитие проростков, можно утверждать, что за 18 лет хранения лучше всего посевные качества сохранили семена *H. perforatum*, хранившиеся при температуре –196 °C, хуже всего — при –20 °C.

Всхожесть и величина показателя T^{50} после разных сроков хранения семян *H. maculatum* при различных температурах представлены на рис. 1в и в табл. 3 соответственно. Динамика прорастания семян *H. maculatum* после 18 лет хранения представлена на рис. 2в. Кратковременная криоконсервация в ЖА не повлияла на всхожесть и немного

Таблица 2. Время, за которое прорастает 50% выборки семян (T^{50}) *Hypericum perforatum* после разных сроков хранения при различной температуре, дни

Table 2. Time to 50% germination (T^{50}) of *Hypericum perforatum* seed samples after storage for different time at different temperatures, days

Срок хранения, г. Storage time, years	Температура набухания, °C Swelling temperature, °C	Температура проращивания, °C Germination temperature, °C	Исходное значение Initial value	Температура хранения, °C Storage temperature, °C		
				–196*	–20	5
—	20	19–21	7.25 ± 0.25	—		
1/12	20	19–21	—	6.75 ± 0.48	—	
3	14	14–21		12.50 ± 0.65	11.25 ± 0.25	13.00 ± 0.58
6	22	22–26**		5.00 ± 0	8.75 ± 0.25	7.00 ± 0.41
9	22	20–26		8.25 ± 0.63	11.00 ± 0.41	8.50 ± 0.25
12	24	21–24		7.25 ± 0.67	15.00 ± 0.91	10.75 ± 0.25
15	22	22–26		6.75 ± 0.48	16.50 ± 0.50	11.25 ± 0.25
18	23	20–26		7.25 ± 0.25	21.50 ± 0.87	16.25 ± 1.03

Примечание. * — в жидком азоте; ** — после стратификации при температуре 2–4 °C 12 дней.

Note. * — in liquid nitrogen; ** — after stratification at 2–4 °C for 12 days.

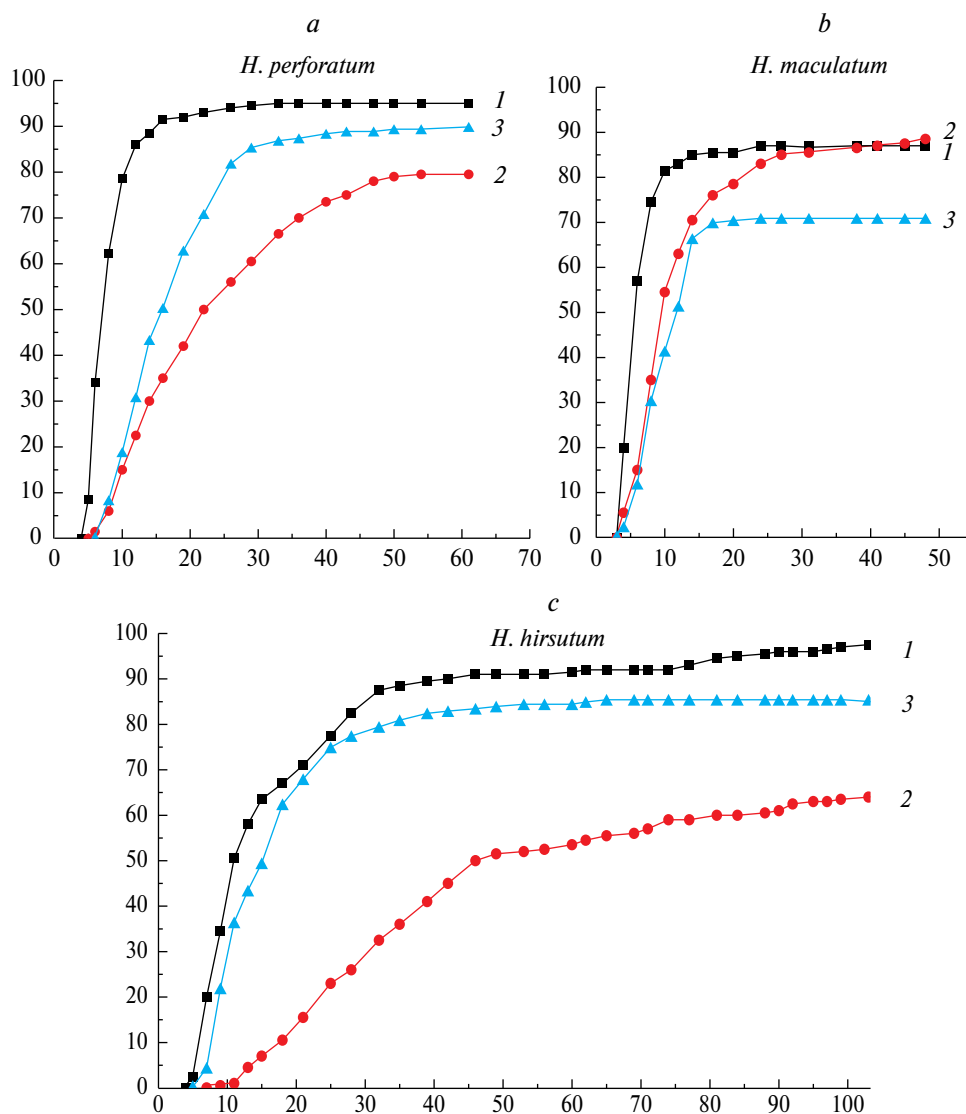


Рис. 2. Динамика прорастания семян трех видов рода *Hypericum* после 18 лет хранения при различной температуре. По горизонтали — время прорастания, дни; по вертикали — всхожесть, %.

Температура хранения: 1 — -196 °C (в жидком азоте), 2 — -20 °C, 3 — 5 °C.

Fig. 2. Seed germination dynamics of three *Hypericum* species after 18 years of storage at different temperatures.

X-axis — germination time, days; y-axis — germination, %.

Storage temperature: 1 — -196 °C (in liquid nitrogen), 2 — -20 °C, 3 — 5 °C.

увеличила скорость прорастания семян *H. maculatum*. Увеличение скорости прорастания может быть связано с растрескиванием семенной кожуры при оттаивании. После 3 лет хранения при всех испытываемых температурах семена практически не проросли, пока температура прорастания не поднялась с 14 до 18 °C. По-видимому, оптимальная температура набухания и прорастания семян этого образца около 22 °C (табл. 3). Увеличение температуры набухания семян с 20 до 22 °C вело к ускорению прорастания, но повышение с 22 до 24 °C вело к снижению скорости прорастания. После 6 лет хранения при близких температурах

прорастания семян, значения скорости прорастания по всем трем вариантам (5, -20 и -196 °C) достоверно не различались, после 9 лет хранения — скорость прорастания семян в вариантах -20 и 5 °C была ниже, чем в варианте -196 °C. Холодная стратификация после 6 лет хранения семян практически не повлияла на скорость прорастания.

После 18 лет хранения семян в ЖА скорость прорастания не снизилась, а после того же срока хранения при -20 и 5 °C она снизилась существенно — значение T^{50} по сравнению с 6 годами хранения выросло в 1.5 и 2 раза соответственно.

Таблица 3. Время, за которое прорастает 50% выборки семян (T^{50}) *Hypericum maculatum* после разных сроков хранения при различной температуре, дни**Table 3.** Time to 50% germination (T^{50}) of *Hypericum maculatum* seed samples after storage for different time at different temperatures, days

Срок хранения, г. Storage time, years	Температура набухания, °C Swelling temperature, °C	Температура проращивания, °C Germination temperature, °C	Исходное значение Initial value	Температура хранения, °C Storage temperature, °C		
				–196*	–20	5
—	20	19—21	8.25 ± 0.48	—		
1/12	20	19—21	—	7.00 ± 0	—	
3	14	14—21		17.50 ± 0.65	17.25 ± 0.63	17.50 ± 0.29
6	22	22—26**		5.00 ± 0	5.50 ± 0.29	6.50 ± 0.29
9	22	20—26		5.50 ± 0.29	7.50 ± 0.29	7.00 ± 0
12	24	21—24		7.75 ± 0.48	11.25 ± 0.63	10.00 ± 0
15	22	22—26		4.50 ± 0.29	9.25 ± 0.25	7.00 ± 0.41
18	23	20—26		5.75 ± 0.48	9.75 ± 0.85	12.25 ± 0.48

Примечание. * — в жидком азоте; ** — после стратификации при температуре 2—4 °C в течение 12 дней.

Note. * — in liquid nitrogen; ** — after stratification at 2—4 °C for 12 days.

Всхожесть семян *H. maculatum*, хранившихся в ЖА и при –20 °C, по данным 18-летнего мониторинга была на уровне исходного значения и выше, тогда как при 5 °C такая же картина была после 15 лет хранения, но после 18 лет всхожесть была на 14% ниже по сравнению со значением предыдущего (15 лет хранения) теста. Проростки семян, находившихся в ЖА и при 5 °C 18 лет, нормально развивались, а при –20 °C после 9 и более лет хранения семян, они были заметно мельче, чем в двух других температурных вариантах эксперимента (рис. 3в).

Таким образом, у *H. maculatum* за 18 лет хранения лучше всего сохранили посевные качества семена, хранившиеся в ЖА. У семян, хранившихся при 5 °C были ниже скорость прорастания и всхожесть, у хранившихся при –20 °C снизилась скорость прорастания, при сохранении всхожести, но проростки были мельче, чем на других вариантах. Учитывая маленькие размеры семян (табл. 1), именно этот параметр — размер проростков может стать «слабым звеном» при грунтовом посеве.

Всхожесть и показатель T^{50} после разных сроков хранения семян *H. hirsutum* при различных температурах представлены на рис. 1с и в табл. 4 соответственно. Динамика прорастания семян после 18 лет хранения при различных температурах представлена на рис. 2с. Кратковременная криоконсервация снизила всхожесть семян *H. hirsutum* на 10%, при этом скорость прорастания снизилась сильнее — значение показателя T^{50} увеличилось в 1.6 раза. При проращивании семян после 3 лет хранения до того, как температура поднялась до 18 °C, семена не проросли. Соот-

ветственно значение показателя T^{50} для семян, хранившихся при –20 и 5 °C было вдвое больше исходного; для семян, хранившихся в ЖА — в 1.5 больше, чем после кратковременной криоконсервации и почти в 3 раза больше исходного значения. Всхожесть семян, находившихся при 5 и –20 °C, осталась на исходном уровне, а после хранения в ЖА, снизилась на 18%.

Холодная стратификация семян, хранившихся 6 лет при 5 °C, не увеличила скорость прорастания семян по сравнению с исходной и их всхожесть осталась на прежнем уровне. Ранее для этого вида отмечали совсем небольшое повышение всхожести и уменьшение срока прорастания после холодной стратификации в течение 15 дней при температуре 2—4 °C [24]. Скорость прорастания семян, хранившихся при –20 °C, после холодной стратификации снизилась в 2.5 раза по сравнению с исходной, всхожесть снизилась на 11%. Скорость прорастания семян, хранившихся в ЖА, после холодной стратификации оценить по показателю T^{50} было невозможно, поскольку их всхожесть была около 40%. Скорее всего, время набухания семян при 20 °C (6 ч. до начала холодной стратификации) было недостаточно для репарации повреждений клеточных структур в результате хранения при отрицательной и, особенно, ультранизкой температуре.

Специальными исследованиями показано, что повреждение семян при хранении обусловлено накоплением активных форм кислорода, способных реагировать практически со всеми биологическими молекулами, включая липиды, ДНК и белки. Пе-

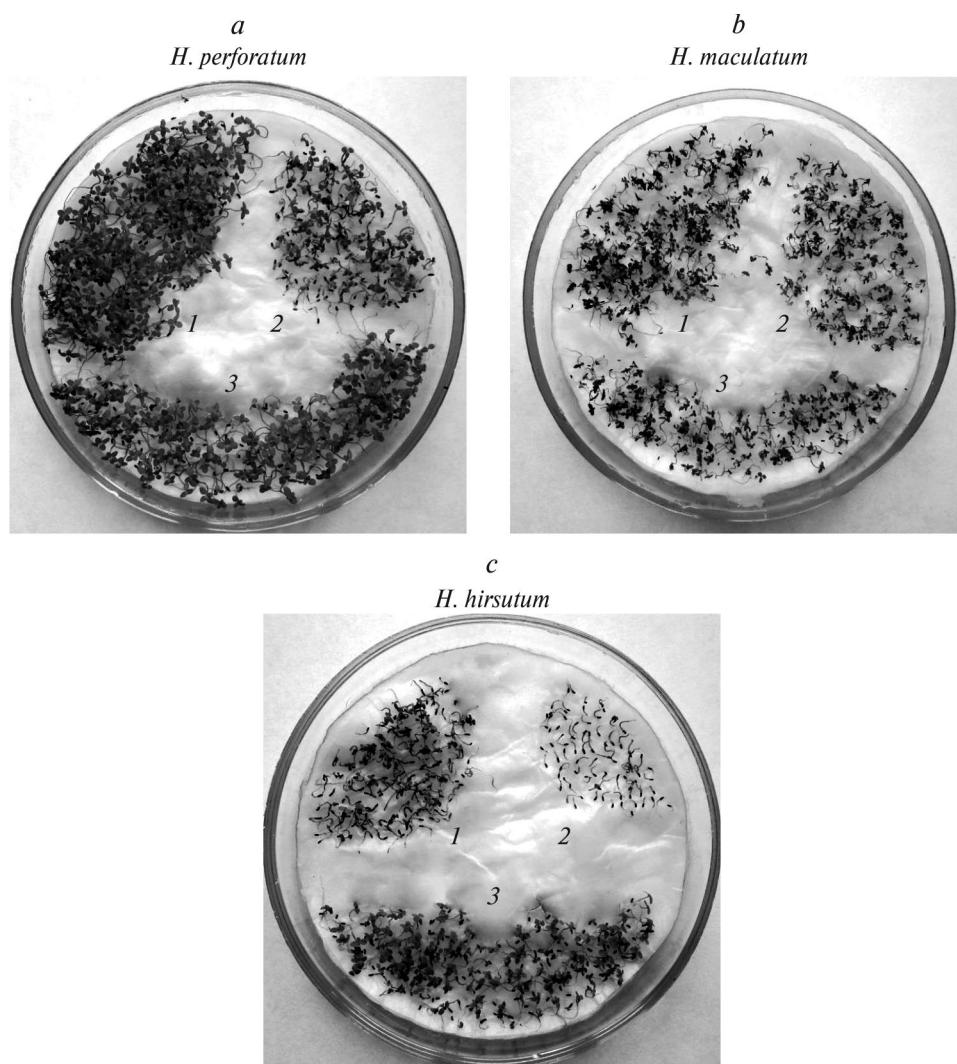


Рис. 3. Развитие проростков трех видов *Hypericum* после 18 лет хранения семян при различной температуре.

a — *H. perforatum*, *b* — *H. maculatum*, *c* — *H. hirsutum*.

Температура хранения: 1 — -196°C (в жидком азоте), 2 — -20°C , 3 — 5°C .

Fig. 3. Seedlings development of three *Hypericum* species after 18 years of seed storage at different temperatures.

a — *H. perforatum*, *b* — *H. maculatum*, *c* — *H. hirsutum*.

Storage temperature: 1 — -196°C (in liquid nitrogen), 2 — -20°C , 3 — 5°C .

реход от состояния покоя к прорастанию связан с быстрым поглощением воды, гидратацией макромолекул, репарацией мембран, белков и нуклеиновых кислот. Это сопровождается усиленным образованием H_2O_2 . Перепроизводство активных форм кислорода (представляющих собой в значительной степени свободные радикалы) приводит к усилению перекисного окисления липидов, что может привести к разрушению клеточных мембран [25]. Экспериментально выявлено, что длительное набухание семян *Arabidopsis thaliana* при низкой температуре приводит к дополнительному повреждению ДНК из-за повышенного окислительного стресса в этих условиях [26].

После 9 лет хранения семена *H. hirsutum* при всех температурных вариантах хранения показали всхожесть на уровне исходной, но скорость прорастания семян, хранившихся при -20 и -196°C была в 1.4 раза ниже, чем семян, хранившихся при 5°C . Наблюдая дальнейшее развитие проростков, мы обнаружили, что из семян, хранившихся в ЖА, после проклевывания корня развивается только 9% проростков, из семян хранившихся при -20°C — 4% проростков, из семян хранившихся при 5°C — 33% от общего количества, составляющего 200 шт. Так как в данном случае мы увлажняли семена через 1–2 часа после отбора с хранения, а относительная влажность воздуха в лаборатории была низкой

Таблица 4. Время, за которое проросло 50% выборки семян (T^{50}) *Hypericum hirsutum* (1-й образец) после разных сроков хранения семян при различной температуре, дни.

Table 4. Time to 50% germination (T^{50}) of *Hypericum hirsutum* seeds (sample 1) after storage for different time at different temperatures, days.

Срок хранения, г. Storage time, years	Температура набухания, °C Swelling temperature, °C	Температура прорастивания, °C Germination temperature, °C	Исходное значение Initial value	Температура хранения, °C Storage temperature, °C		
				–196*	–20	5
—	20	19–21	7.25 ± 0.25	—		
1/12	20	19–21	—	12.50 ± 1.44	—	
3	14	14–21		19.75 ± 0.25	15.25 ± 0.75	17.75 ± 0.63
6	22	22–26**		***	19.25 ± 1.31	9.25 ± 0.25
9	22	20–26		17.25 ± 0.25	17.00 ± 0	12.00 ± 0.71
12	24	21–24		12.00 ± 0.41	39.50 ± 2.53	15.25 ± 0.63
15	22	22–26		12.00 ± 1.53	40.75 ± 3.82	22.25 ± 3.09
18	23	20–26		11.25 ± 1.03	46.00 ± 3.11	16.25 ± 0.85

Примечание. * — в жидком азоте; ** — после стратификации при температуре 2–4 °C в течение 12 дней; *** — T^{50} невозможно определить, так как всхожесть < 50%.

Note. * — in liquid nitrogen; ** — after stratification at 2–4 °C for 12 days; *** — T^{50} cannot be determined, since the germination is < 50%.

(30%), мы предположили, что низкая скорость прорастания и малое количество нормально развивающихся проростков связаны с повреждением мембран в клетках меристем зародышевого корня и эпикотили из-за большого градиента влажности, возникающего, как известно [21], при увлажнении сухих семян водой.

Ранее наш опыт по «мягкому» увлажнению семян на воздухе с высокой влажностью показал, что, если экспонировать семена после их извлечения из ЖА и морозильной камеры в более влажном воздухе и дольше, скорость прорастания (проклеивания) семян, хранившихся при отрицательных температурах, значительно возрастает; количество нормально развивающихся проростков из семян, хранившихся в ЖА кратно увеличивается [27]. Однако на развитие проростков из семян, хранившихся при –20 °C, такое экспонирование существенного влияния не оказало (рис. 4). Поскольку «мягкое» увлажнение в парах воды семян *H. hirsutum* после хранения при –20 °C не привело к улучшению развития проростков, следует предположить, что, нарушения в клеточных структурах меристемы эпикотили произошли во время сухого хранения. Это объясняется сохранением и усилением перекисного окисления липидов до температуры около –25 °C [28]. Что касается семян, хранившихся в ЖА, их повреждения связаны с неблагоприятными условиями регидратации и репарации (высокий градиент влажности, невысокая температура). Соответственно, при дальнейшем мониторинге качества семян (после 12 и более

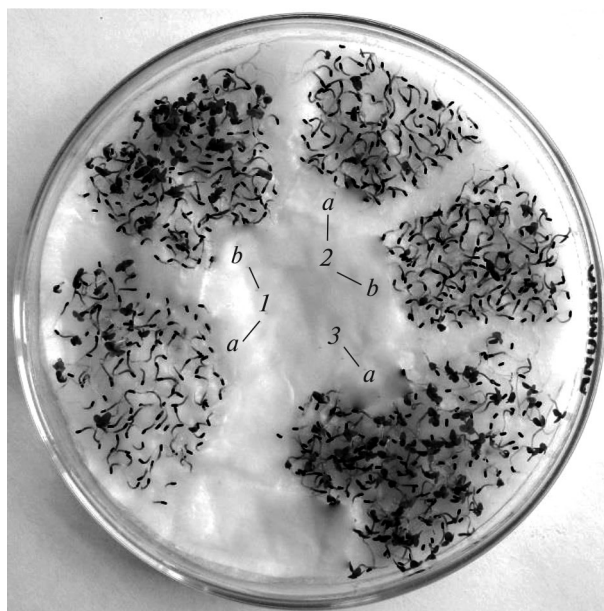


Рис. 4. Развитие проростков *Hypericum hirsutum* (1-й образец) после 9 лет хранения семян при различной температуре и разных условиях регидратации после хранения.

Температура хранения: 1 — –196 °C (в жидком азоте), 2 — –20 °C, 3 — 5 °C.

Условия регидратации после хранения: а — увлажнение водой при температуре 24 °C через 1 час после отбора с хранения; в — на воздухе с относительной влажностью 65% и температурой 24 °C в течение трех суток.

Fig. 4. Seedlings development of *Hypericum hirsutum* (sample 1) after 9 years of seed storage at different temperatures followed by different rehydration methods.

Storage temperature: 1 — –196 °C (in liquid nitrogen), 2 — –20 °C, 3 — 5 °C.

Post-storage rehydration methods: a — humidification with water at 24 °C one hour after removal from storage; b — in air at 24 °C and relative humidity of 65% for 3 days.

лет хранения) мы увлажняли их водой не ранее, чем через 1 сутки после отбора проб с хранения. В течение этого времени пробы семян находились в комнатных условиях при температуре около 22 °С и относительной влажности воздуха 30—40%.

Определение качества семян *H. hirsutum* после 12 и 15 лет хранения показало, что всхожесть семян, хранившихся при 5 °С, снизилась на 15 и 17% соответственно, но после 18 лет она была на уровне исходного значения; скорость прорастания была ниже, чем после 6 и 9 лет хранения; проростки после проклеивания корня нормально развивались. Всхожесть семян, хранившихся при –20 °С, снизилась на 19—22%, скорость прорастания снизилась максимально по сравнению с другими вариантами хранения — в среднем в 6 раз по сравнению с исходной. Проростки после 12 и 15 лет хранения семян при –20 °С были мельче, чем в других температурных вариантах опыта, а после 18 лет хранения — не развивались после проклеивания корня (рис. 3с).

Семена, находившиеся при –196 °С 18 лет, сохранили всхожесть, их скорость прорастания была такой же, как после кратковременной криоконсервации. Проростки из этих семян после 12 и 15 лет хранения нормально развивались, по размеру были равными проросткам из семян, хранившихся при 5 °С, но после 18 лет хранения развивалось только около 1/3 проростков, и они были мельче, чем в варианте хранения семян при 5 °С. Такое резкое уменьшение количества развивающихся проростков и их маленькие размеры скорее связаны не с большим на 3 года сроком хранения семян, а с каким-то неучтенным фактором, повлиявшим на семена сразу после их извлечения из ЖА. Вероятно, таким фактором могла быть конденсация воды в холодной не плотно закрытой пробирке с семенами сразу после извлечения, так как регидратация биомембран в жидкой среде при низкой температуре ведет к их нарушениям [21].

По результатам 18-летнего хранения семян *H. hirsutum* было выявлено, что температура –20 °С неприемлема для длительного хранения семян этого вида. При температуре 5 °С семена хранятся довольно хорошо, так как скорость прорастания снижается медленно. При хранении семян *H. hirsutum* в ЖА всхожесть и скорость прорастания сохранились на исходном уровне. Однако нахождение семян этого вида при ультранизкой температуре сильно повышает их чувствительность к условиям регидратации, набухания и прорастания.

Второй образец семян *H. hirsutum* до закладки на длительное хранение находился в комнатных условиях 5 мес. Кратковременная криоконсервация семян немного снизила их всхожесть (на 8%) и скорость прорастания (рис. 5, табл. 5). Необходимо отметить, что набухание семян происходило при температуре 18 °С, проращивание в диапазоне температур 18—21 °С, что ниже температур оптимальных для набухания и проращивания семян этого вида. После 3 лет хранения семян при различных температурах (–196, –20 и 5 °С) всхожесть и скорость прорастания семян были даже выше исходного значения, что, вероятно, связано с более высокой температурой проращивания (табл. 5). Особенно сильное повышение скорости прорастания (в 2 раза) было у семян, хранившихся при 5 °С, что может быть связано с выходом из состояния неглубокого физиологического покоя, характерного для семян этого вида [29]. Дальнейший мониторинг качества семян до 12 лет хранения показал неизменность всхожести семян при всех используемых в опыте температурах хранения (рис. 5). Скорость прорастания у семян, находившихся при –196 и –20 °С, сохранилась на том уровне, который наблюдался после трёх лет хранения, а у семян, хранившихся при 5 °С, скорость прорастания снизилась почти вдвое (табл. 5). После 9 и 12 лет хранения проростки семян всех температурных вариантов хранения нормально развивались и не различались по размерам.

В комнатных условиях всхожесть семян этого образца сохранялась на исходном уровне в течение 6-ти лет хранения (~97%), после 9 лет хранения она сильно снизилась (10%), после 12 лет — была полностью утрачена. Скорость прорастания семян уже после 3 лет хранения была значительно ниже, чем у семян, хранившихся при низких температурах.

Наши эксперименты показали, что мониторинг качества длительно хранящихся семян только по показателю их лабораторной всхожести, определяемой по проклеиванию корня, может давать необъективную информацию о качестве семян. Семена всех трех видов рода *Hypericum* после больших сроков хранения при –20 °С сохраняют способность к прорастанию, но у *H. hirsutum* снижается количество проростков, нормально развивающихся после проклеивания корня, а у *H. perforatum* и *H. maculatum* проростки были мельче, чем проростки из семян, хранившихся при –196 и 5 °С. Это говорит о том, что меристема эпикотилия при –20 °С стареет быстрее меристемы зародышевого корня. М. Wawrzyniak [30], изучавший влияние хранения на семена

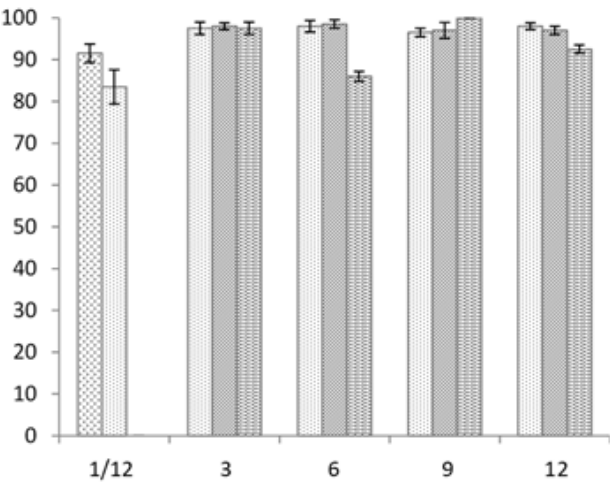


Рис. 5. Лабораторная всхожесть* семян *Hypericum hirsutum* (2-й образец) в зависимости от температуры и срока хранения,%. По горизонтали — срок хранения, г.; по вертикали — всхожесть, %.

Температура хранения:
исходное значение,
–196 °C (жидкий азот),
–20 °C,
5 °C.

* — определена на выборке 4×50 шт. ± стандартная ошибка среднего.

Fig. 5. Laboratory germination (%)* of *Hypericum hirsutum* seeds (sample 2) depending on the storage temperature and time. X-axis — storage time, years; y-axis — laboratory germination, %.

Storage temperature:
initial value,
–196 °C (liquid nitrogen),
–20 °C,
5 °C.

* — arithmetic mean for 4×50 seeds ± standard error of mean.

Таблица 5. Время, за которое проросло 50% выборки семян (T⁵⁰) *Hypericum hirsutum* (2-й образец) после разных сроков хранения семян при различной температуре, дни

Table 5. Time to 50% germination (T⁵⁰) of *Hypericum hirsutum* seeds (sample 2) after storage for different time at different temperatures, days

Срок хранения, г. Storage time, years	Температура набухания, °C Swelling temperature, °C	Температура проращивания, °C Germination temperature, °C	Исходное значение Initial value	Температура хранения, °C Storage temperature, °C			
				–196*	–20	5	Комнатные условия** Room conditions**
—	18	18—21	10.25 ± 0.25	—			
1/12	18	18—21	—	12.00 ± 0.71	—		
3	20	20—26		8.00 ± 0	7.75 ± 0.48	5.25 ± 0.25	10.75 ± 0.25
6	24	21—24		8.75 ± 0.25	9.75 ± 0.25	11.75 ± 0.63	15.75 ± 0.63
9	22	22—26		8.25 ± 0.25	7.50 ± 0.29	8.00 ± 0.41	***
12	23	20—24		8.00 ± 0.41	8.00 ± 0.58	11.00 ± 0.71	***

Примечание. * — в жидком азоте; ** — 20—24 °C (летом 2 мес. до 28 °C); *** — T⁵⁰ невозможно определить, так как всхожесть < 50%.

Note. * — in liquid nitrogen; ** — 20—24 °C (in summer, two months up to 28 °C); *** — T⁵⁰ cannot be determined, since the germination is < 50%.

лесных плодовых деревьев, пришел к выводу, что показатель грунтовой всхожести (появление всходов) более чувствителен к влиянию условий хранения и, следовательно, лучше отражает качество семян по сравнению с тестом на лабораторную всхожесть. Это подтверждает наш вывод о меньшей устойчивости к длительному хранению меристемы эпикотилия; следовательно, для оценки качества семян в банках необходим контроль развития проростков после проклевывания корня.

Для определения качества длительно хранящихся семян необходимо помимо значения всхожести отслеживать динамику прорастания; как минимум, оценивать скорость прорастания по показателю T^{50} — времени, за которое прорастает 50% семян. Для семян с низкой всхожестью можно назначить какой-либо промежуточный репер, например T^{25} — время, за которое проросло 25% семян.

При сравнении результатов длительного хранения двух образцов семян из одной ценопопуляции *H. hirsutum*, хранившихся после сбора в комнатных условиях в течение разного срока (18 и 5 мес.), выявлено, что продолжительность такого предварительного хранения существенно влияет на скорость старения семян, хранящихся как при 5 °С, так и при –20 °С. Влияние на долговечность качества семян условий окружающей среды после их созревания до помещения в контролируемые условия хранения отмечалось ранее для культурных и дикорастущих видов [2, 31, 32]. По-видимому, при комнатной температуре «запускаются» процессы старения, которые продолжаются при дальнейшем хранении семян как при температуре 5 °С, так и –20 °С. Вероятно, в этих условиях происходит накопление активных форм кислорода, которые при дальнейшем хранении семян при указанных температурах могут реагировать практически со всеми биологическими молекулами.

То, что мы использовали для эксперимента семена трех видов рода *Hypericum*, которые до этого уже хранились в комнатных условиях 18 мес., позволило выявить наиболее чувствительный к температурным условиям хранения, регидратации, набухания и прорастивания семян вид — *H. hirsutum*. После хранения в комнатных условиях 18 мес. старение семян разных видов зверобоя при –20 °С происходило с разной скоростью, наибольшей — у *H. hirsutum*. Когда же на хранение при –20 °С были заложены относительно свежие семена этого вида (после 5 мес. комнатного хранения), старение не проявилось после 12 лет. Семена *H. hirsutum* сильнее других реагировали на условия регидратации, набухания

и прорастивания, особенно сильно после хранения при ультранизкой температуре. По-видимому, восстановление семян после кратковременной криоконсервации в неоптимальных условиях можно использовать в качестве теста на их устойчивость к высушиванию и длительному хранению. Однако при оптимальных условиях регидратации, набухания и прорастивания семена *H. hirsutum* после длительного нахождения в ЖА сохранили всхожесть и скорость прорастания на уровне исходных значений. После 15 лет хранения семян при –196 °С проростки нормально развивались.

Молекулярной основой устойчивости семян к высушиванию и старению является накопление протекторов — белков позднего эмбриогенеза (LEA), малых белков теплового шока (sHSP), невосстанавливающихся олигосахаридов группы рафинозы (RFO) и низкомолекулярные антиоксиданты — глутатион, токоферолы и каротиноиды [25]. Наблюдавшаяся нами реакция длительно хранившихся семян *H. hirsutum* на условия регидратации, набухания и прорастивания свидетельствует о том, что они существенно отличаются по компонентному составу от семян *H. perforatum* и *H. maculatum*, вероятно, в основном пониженным содержанием антиоксидантов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Комплексный анализ результатов изучения всхожести, динамики прорастания и развития проростков семян трех видов рода *Hypericum* L. (Hypericaceae): *H. perforatum* L., *H. maculatum* Crantz. и *H. hirsutum* L., хранившихся 18 лет при температуре –196 (в жидком азоте), –20 ± 2 и 5 ± 1 °С показал следующее.

При температуре 5 °С семена *H. perforatum* сохраняют свои качества 6 лет, *H. maculatum* — 15 лет, даже если на длительное хранение закладывались несвежесобранные семена. Хранившиеся при температуре –20 °С семена *H. perforatum* и *H. maculatum* не снижали своего качества до 6 лет. При температуре –196 °С семена этих видов сохранили посевные качества в течение всего периода мониторинга — 18 лет.

У семян *H. hirsutum*, которые до закладки на длительное хранение находились в комнатных условиях 18 мес., через 6 лет хранения при 5 °С и особенно при –20 °С ухудшилось качество. В том случае, когда на длительное хранение закладывались более свежие (после 5 мес. в комнатных условиях) семена *H. hirsutum*, при 5 °С они не теряли качества 9 лет, при –20 °С — 12 лет (весь период мониторинга). В ЖА семена обоих образцов этого вида

демонстрировали способность длительно сохранять свои качества. Таким образом, хранение семян при температуре -196°C , в отличие от температуры 5 и -20°C , обеспечило существенное снижение скорости старения семян, в том числе, находившихся в комнатных условиях значительное время после сбора. При этом семена, хранившиеся при ультранизкой температуре более чувствительны к условиям регидратации, набухания и прорастания, чем семена, хранившиеся при 5 и -20°C .

Рекомендации по длительному хранению и мониторингу качества семян *Hypericum perforatum*, *H. maculatum* и *H. hirsutum*:

— Для длительного хранения следует использовать свежие семена, которые находились в комнатных условиях (температура воздуха до 24°C , относительная влажность до 60%) не более полугода после сбора. Если семена находились в подобных условиях дольше, то далее длительно хранить их можно только при ультранизкой температуре.

— Влажность семян, составляющая $6-7.5\%$, приемлема для их закладки на длительное хранение при указанных температурах.

— Периодичность мониторинга качества семян, хранящихся при температуре 5 и -20°C , допустима 1 раз в 10 лет. Для семян, хранящихся в жидком азоте, этот срок может быть увеличен.

— После извлечения семян из ЖА их оттаивание должно проходить в условиях, исключающих конденсацию на них влаги из воздуха.

— С целью мониторинга качества семян *H. perforatum* и *H. maculatum* после извлечения из ЖА до их увлажнения водой для прорастивания следует экспонировать на воздухе в комнатных условиях не менее 1 суток для того, чтобы регидратация мембран проходила при низком градиенте влажности. В течение такого же срока рекомендуется экспонировать в комнатных условиях семена, хранившиеся при отрицательных и низких положительных температурах, для стабилизации внутриклеточных компонентов в теплых условиях. Семена *H. hirsutum*, как более чувствительные к условиям регидратации, следует экспонировать не менее 2 суток.

— Так как семена изученных видов имеют хорошую исходную всхожесть, выборка для определения всхожести и динамики прорастания 4×50 шт. является достаточной.

— Холодная стратификация для прорастивания семян всех изученных видов не требуется. Оптимальная температура набухания семян $\sim 22^{\circ}\text{C}$, прорастания — $20-24^{\circ}\text{C}$.

— Для определения качества семян необходимо отслеживать помимо значения всхожести динамику прорастания или, как минимум, оценивать скорость прорастания по показателю T^{50} — времени, за которое проросло 50% семян выборки. Проверять прорастание следует не менее трёх раз в неделю.

— Так как меристема эпикотили стареет быстрее меристемы зародышевого корня, для определения качества семян в генных банках необходим контроль развития проростков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Walters C., Wheeler L. M., Stanwood P. C. 2004. Longevity of cryogenically stored seeds. — *Cryobiol.* 48(3): 229—244. <https://doi.org/10.1016/j.cryobiol.2004.01.007>
2. Левицкая Г. Е. 2015. Влияние температуры хранения на жизнеспособность семян дикорастущих видов. 2. Семена с физиологическим покоем на примере видов рода *Campanula* (Campanulaceae). — *Раст. ресурсы.* 51(1): 38—51. <https://elibrary.ru/item.asp?id=22740094>
3. Ellis R. H., Roberts E. H. 1980. Improved equations for the prediction of seed longevity. — *Ann. Bot.* 45(1): 13—30. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a085797>
4. Treuren R., Bas N., Kodde J., Groot S. P. C., Kik C. 2018. Rapid loss of seed viability in *ex situ* conserved wheat and barley at 4°C as compared to -20°C storage. — *Conserv. Physiol.* 6(1): coy033. <https://doi.org/10.1093/conphys/coy033>
5. Solberg S. Ø., Yndgaard F., Andreassen C., Bothmer R., Loskutov I. G., Asdal Å. 2020. Long-Term Storage and Longevity of Orthodox Seeds: A Systematic Review. — *Front Plant Sci.* 11: 1007. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.01007>
6. Walsh D. G. F., Waldren S., Martin J. R. 2003. Monitoring seed viability of fifteen species after storage in the Irish threatened plant genebank. — *Biol. Environ.* 103B(2): 59—67. <https://doi.org/10.1353/bae.2003.a809883>
7. Pérez-García F., Huertas M., Mora E., Peña B., Varela F., González-Benito M. E. 2006. *Hypericum perforatum* L. seed germination: interpopulation variation and effect of light, temperature, presowing treatments and seed desiccation. — *Genet. Resour. Crop Evol.* 53(6): 1187—1198. <https://doi.org/10.1007/s10722-005-2012-3>

8. Nürk N. M., Blattner F. R. 2010. Cladistic analysis of morphological characters in *Hypericum* (Hypericaceae). — Taxon. 59(5): 1495—1507.
<https://doi.org/10.1002/tax.595014>
9. Robson N. K. B. 1996. Studies in the genus *Hypericum* L. (Guttiferae). 6. Sections 20. Myriandra to 28. Elodes. — Bull. Br. Museum Nat. Hist. 26(2): 75—271.
<https://www.biodiversitylibrary.org/page/2349861>
10. Лекарственные растения: справ. пособие. 1992. М. 398 с.
11. Губанов И. А., Киселева К. В., Новиков В. С. 1993. Дикорастущие полезные растения. 2-е изд. М. 300 с.
12. Bruňáková K., Čellárová E. 2016. Conservation Strategies in the Genus *Hypericum* via Cryogenic Treatment. — Front. Plant Sci. 7: 558.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00558>
13. British Herbal Pharmacopoeia. 4th edition. Surrey. 212 p.
14. Upton R., Cott J., Williamson E., Graff A. St. 1997. St. John's wort. *Hypericum perforatum*. Quality control, analytical and therapeutic monograph. American Herbal Pharmacopoeia and Therapeutic Compendium. Texas. 32 p.
15. European Pharmacopoeia. 2008. European Pharmacopoeia, 6th Edn. Strasbourg: Council of Europe.
16. Зверобоя трава. *Hyperici herba*. ФС.2.5.0015.15. 2018. — В: Государственная фармакопея Российской Федерации XIV. Т. IV. М. С. 6074—6083.
<https://pharmacopoeia.regmed.ru/pharmacopoeia/izdanie-14/2/2-5/zveroboya-trava-hyperici-herba/>
17. Akgöz J. 2015. The effects of *Hypericum* (Hypericaceae) species on microorganisms. A review. — Int. Res. J. Pharm. 6(7): 390—399.
<https://doi.org/10.7897/2230-8407.06781>
18. Буданцев А. Л., Приходько В. А., Варганова И. В., Оковитый С. В. 2021. Биологическая активность *Hypericum perforatum* L. (Hypericaceae): обзор. — Фармация и фармакология. 9(1): 17—31.
<https://doi.org/10.19163/2307-9266-2021-9-1-17-31>
19. Левашова О. Л., Гапоненко В. П. 2016. Полісахаридний комплекс звіробю шорсткого (*Hypericum hirsutum* L.). — Теоретичні та практичні аспекти дослідження лікарських рослин: матеріали II міжнар. наук.-практ. Internet-конф., м. Харків, 21—23 берез. 2016. Харків. С. 149—150.
<http://dspace.nuph.edu.ua/handle/123456789/9391>
20. Nivković M. Z., Radulović N. S. 2018. The chemical composition of the essential oil of *Hypericum hirsutum* L. from Suva planina (SE Serbia). — FU Phys. Chem. Tech. 16(1): 155.
<http://casopisi.junis.ni.ac.rs/index.php/FUPhysChemTech/article/view/4341>
21. Хукстра Ф. А., Головина Е. А. 1999. Поведение мембран при дегидратации и устойчивость ангидабиотических организмов к обезвоживанию. — Физиология растений. 46(3): 347—361.
22. Genebank Standards. 1994. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, International Plant Genetic Resources Institute, Rome. 13 p.
<https://www.fao.org/3/aj680e/aj680e.pdf>
23. Buitink J., Leprince O., Hemminga M. A., Hoekstra F. A. 2000. Molecular mobility in the cytoplasm: An approach to describe and predict lifespan of dry germplasm. — PNAS. 97(5): 2385—2390.
<https://doi.org/10.1073/pnas.040554797>
24. Мельникова Т. М. 1969. К биологии прорастания семян некоторых видов зверобоя. — Бюлл. ГБС АН СССР. 73: 87—90.
https://www.gbsad.ru/doc/biulleten_gbs_1969_073.pdf
25. Smolkova G., Leonova T., Vashurina N., Frolov A., Medvedev S. 2021. Desiccation Tolerance as the Basis of Long-Term Seed Viability. — Int. J. Mol. Sci. 2(1): 101.
<https://doi.org/10.3390/ijms22010101>
26. Waterworth W. M., Mashavi G., Bhardwaj R. M., Jiang Q., Bray C. M., West C. E. 2010. A plant DNA ligase is an important determinant of seed longevity. — Plant J. 63(5): 848—860.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-313X.2010.04285.x>
27. Левицкая Г. Е. 2014. Влияние температуры хранения на жизнеспособность семян дикорастущих видов. 1. Семена с вынужденным покоем и неглубоким физиологическим покоем. — Раст. ресурсы. 50(4): 30—44.
<https://elibrary.ru/item.asp?id=22260668>
28. Белоус А. М., Грищенко В. И. 1994. Кробиология. Киев. 430 с.
29. Николаева М. Г., Разумова М. В., Гладкова В. Н. 1985. Справочник по проращиванию покоящихся семян. Л. 348 с.
30. Wawrzyniak M., Michalak M., Chmielarz P. 2020. Effect of different conditions of storage on seed viability and seedling growth of six European wild fruit woody plants. — Ann. Forest Sci. 77: 58.
<https://doi.org/10.1007/s13595-020-00963-z>
31. Попцов А. В., Некрасов В. И., Иванова И. А. 1981. Очерки по семеноведению. М. 112 с.
32. Robert R., Adams J., Conebeer J., Crawford A., Hay F. 2007. Seed quality for conservation is critically affected by pre-storage factors. — Aust. J. Bot. 55(3): 326—335.
<https://doi.org/10.1071/BT06046>

Effect of Temperature and Storage Duration on Seed Quality of Three *Hypericum* (Hypericaceae) Species

© 2024. G. E. Levitskaya

Institute of Cell Biophysics of the Russian Academy of Sciences, Pushchino, Russia

e-mail: levitskaya_g@mail.ru

Abstract — The effect of storage temperatures and duration on long-term storage of the seeds of three *Hypericum* species (Hypericaceae): *H. perforatum* L., *H. maculatum* Crantz., *H. hirsutum* L. was studied. The seed quality was assessed by laboratory germination and germination dynamics tests before storage, after one-month cryopreservation in liquid nitrogen, and then every 3 years over 18 years of storage at 5, –20 and –196 °C (in liquid nitrogen). The development of seedlings from the seeds that have been cryopreserved or cold-stored for 9 years and longer was evaluated. In all studied species, seed quality was not affected by the short-term cryopreservation. When stored at 5 °C, the seeds of *H. perforatum* retained their quality for 6 years, and of *H. maculatum* — for 15 years. The seeds of *H. perforatum* and *H. maculatum* stored at –20 °C retained their quality up to 6 years, and at –196 °C — along the entire 18 years of monitoring. The quality of *H. hirsutum* seeds that were placed for long-term storage after 18 months of room storage, deteriorated significantly after 6 years of storage at 5 and –20 °C. When additional lot of *H. hirsutum* fresh seeds (after 5 months of room storage) were placed for long-term storage, they retained quality at 5 °C for 9 years, and at –20 °C — for 12 years (the entire period of monitoring). In liquid nitrogen, the seeds of both *H. hirsutum* sample lots retained their quality for a long time. After 18 years of storage, in all three species, the best sowing qualities were observed in seeds stored at –196 °C, and the lowest — at –20 °C. In seeds stored under all above-mentioned temperatures, the germination ability changed insignificantly, and the germination rate decreased under storage at –20 and 5 °C. Under long-term storage at –20 °C, the seeds retained the ability for root emergence, but the size of the seedlings decreased; in *H. hirsutum* the number of normally developing seedlings also decreased, which means the faster ageing of epicotyl meristem than the radicle meristem. An increase in the duration of the preliminary room storage led to an accelerated ageing of seeds stored both at 5 and at –20 °C. Storage at –196 °C significantly decreased seed ageing, regardless of the duration of the preliminary room storage. Seeds stored in liquid nitrogen are more sensitive to the swelling and germination conditions than those stored at 5 and –20 °C. The desiccation and ageing resistance of *H. hirsutum* seeds is lower than that of *H. perforatum* and *H. maculatum*. It is suggested to use seed recovery after short-term cryopreservation under suboptimal conditions as a test for seed resistance to desiccation and suitability for long-term storage. Recommendations for the studied species' seed quality monitoring during their long-term storage are given.

Keywords: *Hypericum*, seed ageing, long-term storage, storage temperature, cryopreservation, germination ability, dynamics of seed germination, seedling quality

REFERENCES

1. Walters C., Wheeler L. M., Stanwood P. C. 2004. Longevity of cryogenically stored seeds. — *Cryobiol.* 48(3): 229–244. <https://doi.org/10.1016/j.cryobiol.2004.01.007>
2. Levitskaya G. E. 2015. The influence of the storage temperature on the seeds of wild species. 2. Seeds with physiological dormancy in the case of *Campanula* (Campanulaceae). — *Rastitelnye resursy.* 51(1): 38–51. <https://elibrary.ru/item.asp?id=22740094> (In Russian)
3. Ellis R. H., Roberts E. H. 1980. Improved equations for the prediction of seed longevity. — *Ann. Bot.* 45(1): 13–30. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a085797>
4. Treuren R., Bas N., Kodde J., Groot S. P. C., Kik C. 2018. Rapid loss of seed viability in *ex situ* conserved wheat and barley at 4 °C as compared to –20 °C storage. — *Conserv. Physiol.* 6(1): coy033. <https://doi.org/10.1093/conphys/coy033>
5. Solberg S. Ø., Yndgaard F., Andreassen C., Bothmer R., Loskutov I. G., Asdal Å. 2020. Long-term storage and longevity of orthodox seeds: A systematic review. — *Front Plant Sci.* 11: 1007. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.01007>
6. Walsh D. G. F., Waldren S., Martin J. R. 2003. Monitoring seed viability of fifteen species after storage in the Irish threatened plant genebank. — *Biol. Environ.* 103B(2): 59–67. <https://doi.org/10.1353/bae.2003.a809883>
7. Pérez-García F., Huertas M., Mora E., Peña B., Varela F., González-Benito M. E. 2006. *Hypericum perforatum* L. seed germination: interpopulation variation and effect of light, temperature, presowing treatments and seed desiccation. — *Genet. Resour. Crop Evol.* 53(6): 1187–1198. <https://doi.org/10.1007/s10722-005-2012-3>
8. Nürk N. M., Blattner F. R. 2010. Cladistic analysis of morphological characters in *Hypericum* (Hypericaceae). — *Taxon.* 59(5): 1495–1507. <https://doi.org/10.1002/tax.595014>

9. Robson N. K. B. 1996. Studies in the genus *Hypericum* L. (Guttiferae). 6. Sections 20. Myriandra to 28. Elodes. — Bull. Br. Museum Nat. Hist. 26(2): 75—271.
<https://www.biodiversitylibrary.org/page/2349861>
10. [Medicinal plants: reference guide]. 1992. Moscow. 398 p. (In Russian)
11. Gubanov I. A., Kyseleva K. V., Novikov V. S. 1993. [Wild growing useful plants]. 2nd edition. Moscow. 300 p. (In Russian)
12. Bruňáková K., Čellárová E. 2016. Conservation strategies in the genus *Hypericum* via cryogenic treatment. — Front. Plant Sci. 7: 558.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00558>
13. British Herbal Pharmacopoeia. 1996. 4th edition. Surrey. 212 p.
14. Upton R., Cott J., Williamson E., Graff A. St. 1997. St. John's wort. *Hypericum perforatum*. Quality control, analytical and therapeutic monograph. American Herbal Pharmacopoeia and Therapeutic Compendium. Texas. 32 p.
15. European Pharmacopoeia. 2008. 6th Edition. Strasbourg.
16. *Hyperici herba*. FS.2.5.0015.15. 2018. — In: State Pharmacopoeia of the Russian Federation XIV. 2018. Vol. IV. Moscow. P. 6074—6083.
<https://pharmacopoeia.regmed.ru/pharmacopoeia/izdanie-14/2/2—5/zveroboya-trava-hyperici-herba/> (In Russian)
17. Akgöz J. 2015. The effects of *Hypericum* (Hypericaceae) species on microorganisms. A review. — Int. Res. J. Pharm. 6(7): 390—399.
<https://doi.org/10.7897/2230-8407.06781>
18. Budantsev A. L., Prikhodko V. A., Varganova I. V., Okovityi S. V. 2021. Biological activity of *Hypericum perforatum* L. (Hypericaceae): a review. — Farmatsiya i farmakologiya. 9(1): 17—31.
<https://doi.org/10.19163/2307-9266-2021-9-1-17-31> (In Russian)
19. Levashova O. L., Gaponenko V. P. 2016. [Polysaccharide complex of *Hypericum hirsutum* L.]. — In: Theoretical and practical aspects of medicinal plant research: materials of the II international science and practice Internet conference, Kharkiv, March 21—23, 2016. Kharkiv. P. 149—150.
<http://dspace.nuph.edu.ua/handle/123456789/9391> (In Ukrainian)
20. Nivković M. Z., Radulović N. S. 2018. The chemical composition of the essential oil of *Hypericum hirsutum* L. from Šuva planina (SE Serbia). — FU Phys. Chem. Tech. 16(1): 155.
<http://casopisi.junis.ni.ac.rs/index.php/FUPhysChemTech/article/view/4341>
21. Hoekstra F. A., Golovina E. A. 1999. Membrane behavior during dehydration: implications for desiccation tolerance. — Russ. J. Plant Physiol. 46(3): 295—306.
22. Genebank standards. 1994. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, International Plant Genetic Resources Institute, Rome. 13 p.
<https://www.fao.org/3/aj680e/aj680e.pdf>
23. Buitink J., Leprince O., Hemminga M. A., Hoekstra F. A. 2000. Molecular mobility in the cytoplasm: An approach to describe and predict lifespan of dry germplasm. — PNAS. 97(5): 2385—2390.
<https://doi.org/10.1073/pnas.040554797>
24. Melnikova T. M. 1969. [On the biology of seed germination of some species of *Hypericum*]. — Bull. GBS AN SSSR. 73: 87—90.
https://www.gbsad.ru/doc/biulleten_gbs_1969_073.pdf (In Russian)
25. https://www.gbsad.ru/doc/biulleten_gbs_1969_073.pdf (In Russian)
26. Smolkova G., Leonova T., Vashurina N., Frolov A., Medvedev S. 2021. Desiccation tolerance as the basis of long-term seed viability. — Int. J. Mol. Sci. 2(1): 101.
<https://doi.org/10.3390/ijms22010101>
27. Waterworth W. M., Masnavi G., Bhardwaj R. M., Jiang Q., Bray C. M., West C. E. 2010. A plant DNA ligase is an important determinant of seed longevity. — Plant J. 63(5): 848—860.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-313X.2010.04285.x>
28. Levitskaya G. E. 2014. The influence of the storage temperature on the seeds of wild species. 1. The not-dormant seeds and seeds with non-deep physiological dormancy. — Rastitelnye resursy. 50(4): 30—44.
<https://elibrary.ru/item.asp?id=22260668> (In Russian)
29. Belous A. M., Grishchenko V. I. 1994. [Cryobiology]. Kyiv. 430 p. (In Russian)
30. Nikolaeva M. G., Razumova M. V., Gladkova V. N. 1985. [A handbook for germinating dormant seeds]. Leningrad. 348 p. (In Russian)
31. Wawrzyniak M., Michalak M., Chmielarz P. 2020. Effect of different conditions of storage on seed viability and seedling growth of six European wild fruit woody plants. — Ann. Forest Sci. 77: 58.
<https://doi.org/10.1007/s13595-020-00963-z>
32. Poptsov A. V., Nekrasov V. I., Ivanova I. A. 1981. [Essays on seed science]. Moscow. 112 p. (In Russian)
33. Probert R., Adams J., Coneybeer J., Crawford A., Hay F. 2007. Seed quality for conservation is critically affected by pre-storage factors. — Aust. J. Bot. 55(3): 326—335.
<https://doi.org/10.1071/BT06046>

К БИОЛОГИИ *ORNITHOGALUM FISCHERIANUM* (HYACINTHACEAE) В ОРЕНБУРГСКОЙ ОБЛАСТИ

© 2024 г. А. Н. Мустафина*, Л. М. Абрамова

Южно-Уральский ботанический сад-институт Уфимского федерального исследовательского центра РАН,
г. Уфа, Россия

*e-mail: alfyverta@mail.ru

Поступила в редакцию 15.05.2023

После доработки 20.01.2024

Принята к публикации 20.03.2024

Приводятся результаты исследования 10 природных ценопопуляций (ЦП) малоизученного декоративного вида *Ornithogalum fischerianum* Krasch. (Hyacinthaceae) на территории Оренбургской области. Изучена морфометрическая изменчивость и жизненное состояние особей. Выявлено, что вид приурочен к степям на сухих солонцеватых местообитаниях, изредка встречается в песчаных степях и на залежах. Изменчивость всех изученных признаков находится в пределах нормы реакции вида ($C_v = 5.7–32.8\%$). Максимальные показатели по большинству морфометрических параметров отмечены в ЦП Рассыпное, минимальные — в ЦП Дмитровский и Землянский. Результаты дискриминантного анализа показали, что особи в большинстве ЦП имеют довольно высокое морфоструктурное разнообразие. Максимальное фенотипическое разнообразие наблюдается в ЦП Горюн, минимальное — в ЦП Рассыпное. Виталитетный тип большинства ценопопуляций процветающий, одна ценопопуляция отнесена к депрессивным. Выявлено, что вид хорошо себя чувствует в нарушенных степях, где отсутствует или снижена конкуренция с крупными дерновинными злаками. Уплотнение почвы, напротив, негативно сказывается на росте и развитии этого вида. Несмотря на достаточно стабильное состояние большинства ценопопуляций вида, многие из них малочисленны, поэтому дальнейший мониторинг мест произрастания *O. fischerianum* является актуальным.

Ключевые слова: *Ornithogalum fischerianum*, декоративный вид, ценопопуляции, морфометрические параметры, виталитет, Оренбургская область

DOI: 10.31857/S0033994624020055, **EDN:** PYNVBQ

В степной зоне Южного Урала представлено большое число ресурсных видов растений — лекарственных, пищевых, декоративных, медоносных и др. В полной мере это относится к Оренбургской области, значительную часть которой занимают степи. Исследованиями ресурсных растений Оренбуржья, а также редких видов, мы занимаемся на протяжении ряда лет [1–4]. Это позволяет объективно оценивать биоэкологические особенности растений и современное состояние их популяций.

Настоящая работа посвящена малоизученному декоративному виду *Ornithogalum fischerianum* Krasch. (птицемлечник Фишера), произрастающему на территории Оренбургской области. Вид принадлежит к роду *Ornithogalum* L. (птицемлечник) из семейства Hyacinthaceae Batsch и входит в секцию *Heleocharmos* Baker. Род *Ornithogalum*

включает в себя от 30 до 200 видов [5]. Птицемлечники произрастают на склонах холмов, меловых обнажениях, в степных сообществах на засоленных местообитаниях, в зарослях кустарников на юге Европы, на юге Западной Сибири, на Кавказе, в Турции, Иране, Средней Азии и Северной Америке [6, 7].

Исследования различных аспектов биологии птицемлечников проводили многие авторы [8–10]. На основе выполненных биохимических исследований установлено, что виды этого рода как в листьях, так и в подземных органах содержат аскорбиновую кислоту, сапонины, катехины, сахара и некоторые другие соединения [11–13]. Кроме того, большой пласт литературы посвящен интродукционным испытаниям птицемлечников, поскольку они являются интересными в декоративном плане [14–18].

O. fischerianum является восточноевропейско-западносибирско-среднеазиатским видом, произрастает в Причерноморье, в бассейне Нижнего и Среднего Дона, на Нижней Волге, в Западной Сибири и Средней Азии [7]. Растет в степях и на солонцеватых лугах, на меловых обнажениях, иногда в посевах [19]. Включен в Красные книги Республики Казахстан [20], Самарской [21], Челябинской [22] и др. областей России. Охраняется в Воронежской области в федеральном заказнике «Каменная степь» и ряде памятников природы [23].

Сведений по биологии этого вида практически нет, за исключением исследований анатомического строения листьев на территории Калмыкии [8]. Данные по биохимии также отсутствуют. По другим видам рода аналогичные исследования проводили. Например, исследование луковиц и листьев *O. umbellatum* L. выявило наличие таких компонентов, как аскорбиновая кислота, сахара, пектины, протопектины, катехины и сапонины. Кроме того, в луковицах обнаружен крахмал, а в листьях — флавонолы. Количественное содержание зависит от метеорологических условий периода вегетации и года наблюдений. В летне-осенний период идет интенсивное накопление пектинов, протопектинов, сапонинов, катехинов, что повышает устойчивость и выживаемость генеративных и вегетативных органов в период зимнего покоя. Повышенное содержание крахмала в предзимье способствует морозостойкости луковиц [24, 25]. Зарубежными учеными ведется активная работа по некоторым видам рода *Ornithogalum* в плане выявления биохимических веществ, обладающих противораковой активностью [26, 27].

Морфометрия является важным инструментом в работе ботаников, занимающихся изучением растений на популяционном уровне [28]. Результаты подобных исследований для редких и исчезающих видов имеют неоспоримую диагностическую ценность — они отражают степень устойчивости и возможность существования растений в условиях стресса, вызванного различными причинами, включая антропогенные, и позволяют оценить их жизнеспособность ЦП [29].

Целью наших исследований было выявление морфометрической изменчивости и оценка современного состояния ценопопуляций (ЦП) *O. fischerianum* на территории Оренбургской обл.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

O. fischerianum — луковичный травянистый поликарпический многолетник высотой 20—35 см, редко до 70 см (рис. 1). Луковица яйцевидная, диаметром 1.5—2.5 см. Листья линейные, в количестве 4—6 шт. Соцветие — удлинённая рыхлая кисть, с числом цветков от 4 до 25. Прицветники ланцетные или линейно-ланцетные, тонкозаостренные, листочки околоцветника длиной 10—12 мм, белые, посредине с узкой полоской из нескольких рыжеватых или слабозаметных зеленоватых жилок. Плод — коробочка с 3 округлыми ребрами. Цветет в мае—июне. Размножается семенами [6].



Рис. 1. Внешний вид *Ornithogalum fischerianum* (Оренбургская обл., Соль-Илецкий р-н, 2,5 км юго-западнее д. Дивнополье).

Fig. 1. Appearance of *Ornithogalum fischerianum* (Orenburg region, Sol-Iletsk district, 2.5 km southwest of the village of Divnopolye).

Исследования ЦП *O. fischerianum* проводили в 2017—2022 гг. в шести юго-западных и южных районах Оренбургской области (Первомайский, Переволоцкий, Ташлинский, Оренбургский, Илекский, Акбулакский) (рис. 2). Всего изучено 10 ЦП вида, название которым давалось по ближайшему населенному пункту или географическому объекту. Для оценки фитоценотической приуроченности ценопопуляций *O. fischerianum* выполнялись геоботанические описания сообществ

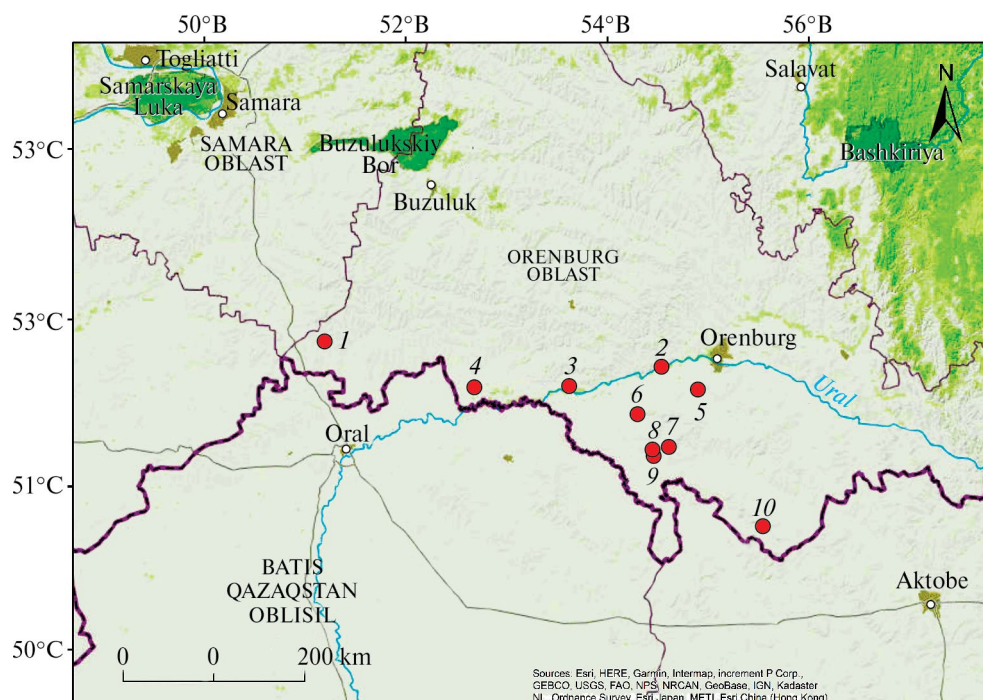


Рис. 2. Карта расположения изученных локалитетов *Ornithogalum fischerianum*.

Fig. 2. Map of the studied localities of *Ornithogalum fischerianum*.

с использованием традиционных геоботанических методов [30].

В качестве учетной единицы принимали особь средневозрастного генеративного онтогенетического состояния [28]. По методу В. Н. Голубева [31] в каждой ЦП у 25 случайно выбранных растений измеряли следующие признаки: высота генеративного побега, см; диаметр стебля, см; число листьев, шт.; длина листа, см; ширина листа, см; длина соцветия, см; диаметр соцветия, см; число цветков, шт.; диаметр цветка, см. Наблюдения и измерения проводили в фазу цветения.

Виталитетная структура ценопопуляций оценена по методике Ю. А. Злобина и др. [28]. Индекс виталитета особи (*IVI*), рассчитывали по формуле [32]:

$$IVI = \frac{\sum_{i=1}^N X_i^1 / X_i^2}{N},$$

где X_i^1 — значение i -го признака особи, X_i^2 — среднее значение i -го признака для всей выборки, N — число признаков. Все особи, по индексу виталитета были разделены на три класса — высший (а), средний (б) и низший (с). Границы класса б находились в пределах доверительного интервала среднего значения ($x_{cp} \pm \sigma$). Индекс качества ЦП — $Q = 1 / 2(a + b)$ [28], был использован для

определения виталитетного типа ЦП: $Q > c$ — процветающие, $Q = c$ — равновесные, $Q < c$ — депрессивные. Для оценки степени процветания или депрессивности ЦП применяли индекс $I_Q = (a + b) / 2c$. При этом значения выше единицы соответствовали процветающему состоянию, а значения ниже единицы — депрессивному. Степень отклонения от единицы, соответствующей равновесному состоянию, отражает степень процветания или депрессивности. В случае отсутствия особей одного из классов при расчете I_Q их долю принимали равной 0.001.

Для характеристики виталитета ценопопуляции в целом использовали индекс виталитета ценопопуляции (*IVC*) [28, 32]:

$$IVC = \frac{\sum_{i=1}^N X_i^1 / X_i^2}{N},$$

где X_i^1 — значение i -го признака в ЦП, X_i^2 — среднее значение i -го признака для всех ЦП, N — число признаков.

Для оценки размерной пластичности *O. fischerianum* в пределах исследованной выборки ценопопуляций рассчитывался индекс размерной пластичности (*ISP*) как отношение максимального значения *IVC* к его минимальному значению: $ISP = IVC_{max} / IVC_{min}$ [32].

Статистический анализ проводили в MS Excel 2010 с использованием стандартных показателей [33]. Для изучения межпопуляционной изменчивости были использованы дисперсионный и кластерный анализ различия выборок по средневыворочным значениям морфометрических параметров растений. Многомерный анализ проводили по программе StatSoft STATISTICA 6.1 для 10 выборок. В процессе дискриминантного анализа вычисляли фенотипическую дистанцию, выраженную расстоянием Махаланобиса [33, 34].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

O. fischerianum встречается в южных и юго-западных р-нах Оренбургской обл. По данным геоботанических описаний определена фитоценотическая приуроченность ЦП изученного вида (табл. 1). Ценопопуляции *O. fischerianum* встречаются, в основном, на выровненных участках или склонах южной и западной экспозиций (уклон 5—20°), преимущественно в пустынножитняково-лерхопопынных, реже лерхопопынно-ковыловых степях (*Agropyron desertorum*, *Artemisia lercheana*, *Stipa lessingiana*, *Kochia prostrata*) на сухих солонцеватых почвах, изредка в песчаных степях и на залежах. Хорошо выдерживают выпас. Травостой разреженный, общее проективное покрытие

(ОПП) составляет 5% на склонах в верхних частях холмов и 60—85% — на более пологих участках. Сообщества включают 25—35 видов на пробной площади размером 10×10 м. Для травяного покрова характерны галофитные виды растений, приуроченные в исследуемом регионе, как правило, к солонцам и солонцеватым местообитаниям (*Artemisia lercheana*, *A. pauciflora*, *Kochia prostrata*, *Tanacetum achilleifolium* и др.), а также степные виды (*Agropyron pectinatum*, *Artemisia austriaca*, *Festuca valesiaca*, *Galatella villosa*, *Koeleria cristata* и др.). На антропогенно нарушенных местообитаниях с высоким обилием встречаются *Alyssum turkestanicum*, *Eremopyrum orientale*, *Poa crispa* и др.

Проведенный дисперсионный анализ (табл. 2) показал статистически значимое влияние условий местообитания (конкретного экотопа каждой ЦП) на большинство изученных морфометрических признаков. Уровень факторизации составил от 10 до 78%. В целом, показатель силы влияния этого фактора высокий, что свидетельствует о различиях в условиях местообитания вида. Изучаемый фактор в наибольшей степени оказывает влияние на число цветков и длину соцветия.

Результаты кластерного анализа выборок *O. fischerianum* показаны в табл. 2 и на рис. 3. При использовании метода одиночной связи исследуемые

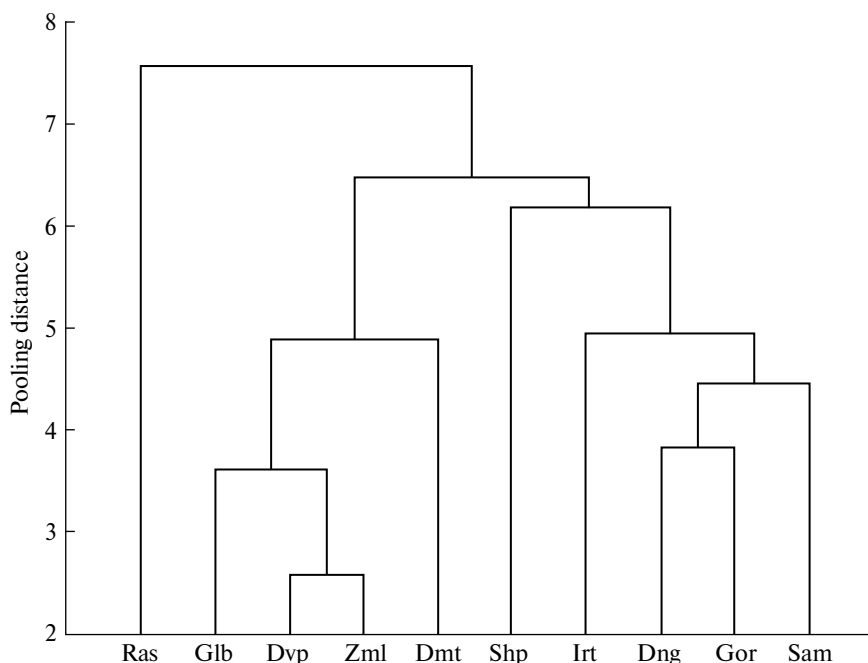


Рис. 3. Дендрограмма различий выборок *Ornithogalum fischerianum* по средневыворочным значениям морфометрических параметров растений.

Fig. 3. Dendrogram of differences in samples of *Ornithogalum fischerianum* by mean sample values of plant morphometric parameters.

Таблица 1. Характеристика исследованных местообитаний *Ornithogalum fischerianum* в Оренбургской области
Table 1. Characteristics of the studied habitats of *Ornithogalum fischerianum* in the Orenburg Region

№ ЦП № CP	Ценопопуляция Соенорopulation	Широта Latitude	Долгота Longitude	Общее проективное покрытие, % Total projective cover, %	Положение в рельефе Topographic position	Уклон, градусы Slope, degrees	Экспозиция Aspect	Сообщество Community	Характерные виды Characteristic species
1	Самаркин Samar kin (Smr)	51.868756	51.202076	85	Равнина Plain	0	—	Старая залежь Abandoned field	<i>Agropyron pectinatum</i> , <i>Artemisia austriaca</i> , <i>Festuca valesiaca</i> , <i>Koeleria cristata</i>
2	Горюн Goryun (Grn)	51.720703	54.543565	80	Равнина Plain	0	—	Сухая солонцеватая степь Dry saline steppe	<i>Agropyron desertorum</i> , <i>Artemisia lerchiana</i> , <i>Stipa sareptana</i> , <i>Stipa lessingiana</i>
3	Рассыпное Rassypnoe (Rsp)	51.604390	53.625590	75	Равнина Plain	0	—	Сбитая солонцеватая степь Dry saline steppe	<i>A. lerchiana</i> , <i>Eremopyrum orientale</i> , <i>Kochia prostrata</i> , <i>Poa crispa</i> , <i>Tanacetum achilleifolium</i>
4	Иртекские пески (Irt)	51.596840	52.681700	75	Равнина Plain	0	—	Сбой на песке Disturbed sands	<i>Alyssum turkestanicum</i> , <i>Kochia laniflora</i> , <i>P. crispa</i>
5	Донгуз Donguz (Dng)	51.585266	54.901707	60	Склон Slope	15	Южная South	Сухая солонцеватая степь Dry saline steppe	<i>A. desertorum</i> , <i>S. lessingiana</i> , <i>A. lerchiana</i> , <i>K. prostrata</i> , <i>P. crispa</i> , <i>Stipa capillata</i> , <i>T. achilleifolium</i>
6	Дмитровский Dmitrovskiy (Dmt)	51.435530	54.301020	55	Вершина холма Top of the hill	0	—	Сухая солонцеватая степь Dry saline steppe	<i>A. desertorum</i> , <i>A. lerchiana</i> , <i>Galatella villosa</i> , <i>S. sareptana</i>
7	Землянский Zemlyanskiy (Zml)	51.238036	54.613973	75	Вершина холма Top of the hill	0	—	Сухая солонцеватая степь Dry saline steppe	<i>A. desertorum</i> , <i>A. lerchiana</i> , <i>K. prostrata</i> , <i>P. crispa</i>
8	Дивнополье Divnopol'e (Dvp)	51.225330	54.453670	70	Склон Slope	5	Южная South	Сухая солонцеватая степь Dry saline steppe	<i>A. desertorum</i> , <i>A. lerchiana</i> , <i>A. pauciflora</i> , <i>F. valesiaca</i> , <i>K. prostrata</i> , <i>T. achilleifolium</i>
9	Глубокий Glubokiy (Glb)	51.184022	54.458432	80	Склон Slope	20	Западная West	Сухая солонцеватая степь Dry saline steppe	<i>A. lerchiana</i> , <i>K. cristata</i> , <i>S. lessingiana</i> , <i>P. crispa</i>
10	Шаповалово Shapovalovo (Shp)	50.759919	55.549105	80	Склон Slope	15	Южная South	Сухая солонцеватая степь Dry saline steppe	<i>A. desertorum</i> , <i>A. lerchiana</i> , <i>Galatella tatarica</i> , <i>K. prostrata</i> , <i>P. crispa</i> , <i>S. sareptana</i>

Таблица 2. Изменчивость морфометрических признаков *Ornithogalum fischerianum*
Table 2. Variability of morphometric characteristics of *Ornithogalum fischerianum*

Средние значения морфометрических параметров Average values of morphometric parameters									
Ценопопуляция Coenopopulation	Высота ген. побега, см Height of generative shoot, cm	Диаметр ген. побега, см Diameter of generative shoot, cm	Число листьев, шт. Number of leaves, pcs.	Длина листа, см Leaf length, cm	Ширина листа, см Leaf width, cm	Число цветков на побег, шт. The number of flowers per shoot, pcs.	Диаметр цветка, см Flower dia- meter, cm	Длина соцветия, см Inflorescence length, cm	Диаметр соцветия, см Inflorescence diameter, cm
	Кластер I Cluster I								
Rsp	40.1 ± 0.98 ¹	0.4 ± 0.01	3.8 ± 0.10	19.9 ± 0.79	1.0 ± 0.03	21.4 ± 0.89	2.6 ± 0.07	13.4 ± 0.57	6.3 ± 0.31
Cv, %	12.2	14.5	13.2	19.9	17.7	20.9	13.3	21.3	24.3
Кластер II Cluster II									
Dmt	31.8 ± 0.83	0.3 ± 0.01	3.9 ± 0.11	20.5 ± 0.41	0.7 ± 0.02	13.6 ± 0.63	1.4 ± 0.03	9.8 ± 0.30	2.6 ± 0.12
Cv, %	13.0	17.4	14.6	10.1	12.6	23.2	11.0	15.3	23.1
Glb	37.9 ± 1.11	0.2 ± 0.01	3.8 ± 0.10	16.9 ± 0.42	0.6 ± 0.02	12.1 ± 0.53	2.0 ± 0.04	10.5 ± 0.52	2.8 ± 0.10
Cv, %	14.7	18.5	13.9	12.6	21.1	21.9	9.0	24.6	18.3
Dvp	35.0 ± 0.92	0.3 ± 0.02	3.5 ± 0.10	17.6 ± 0.47	0.6 ± 0.03	12.6 ± 0.54	2.1 ± 0.03	9.2 ± 0.35	2.6 ± 0.11
Cv, %	13.1	25.9	14.5	13.3	22.7	21.3	6.2	19.2	21.9
Zml	34.2 ± 0.85	0.3 ± 0.01	3.4 ± 0.10	17.9 ± 0.40	0.6 ± 0.02	10.6 ± 0.39	2.0 ± 0.02	9.0 ± 0.32	2.8 ± 0.11
Cv, %	12.5	15.4	14.6	11.3	17.2	18.3	5.2	17.9	19.6
Кластер III Cluster III									
Shp	37.6 ± 0.98	0.3 ± 0.01	4.1 ± 0.10	21.3 ± 0.58	0.8 ± 0.03	15.0 ± 0.92	2.1 ± 0.02	12.3 ± 0.81	6.3 ± 0.28
Cv, %	13.0	19.7	12.1	13.6	17.9	30.7	5.6	32.8	22.3
Irt	34.6 ± 1.05	0.3 ± 0.01	3.5 ± 0.10	16.7 ± 0.49	0.7 ± 0.03	17.5 ± 1.02	2.7 ± 0.05	14.0 ± 0.44	5.7 ± 0.17
Cv, %	15.2	18.5	14.7	14.7	21.0	29.2	9.5	15.7	14.5
Dng	37.5 ± 1.21	0.3 ± 0.01	3.5 ± 0.17	17.9 ± 0.43	0.6 ± 0.03	15.2 ± 0.65	2.4 ± 0.03	11.4 ± 0.53	6.6 ± 0.28
Cv, %	16.1	27.5	24.8	12.1	21.9	21.2	5.7	23.5	21.0
Gm	36.4 ± 0.75	0.3 ± 0.01	3.3 ± 0.10	17.3 ± 0.64	0.8 ± 0.02	13.7 ± 0.64	2.6 ± 0.05	11.1 ± 0.41	5.3 ± 0.16

Таблица 2. Окончание

Средние значения морфометрических параметров Average values of morphometric parameters									
Ценопопуляция Coenopopulation	Высота ген. побега, см Height of generative shoot, cm	Диаметр ген. побега, см Diameter of generative shoot, cm	Число листьев, шт. Number of leaves, pcs.	Длина листа, см Leaf length, cm	Ширина листа, см Leaf width, cm	Число цветков на побег, шт. The number of flowers per shoot, pcs.	Диаметр цветка, см Flower dia- meter, cm	Длина соцветия, см Inflorescence length, cm	Диаметр соцветия, см Inflorescence diameter, cm
Cv, %	10.3	12.2	14.3	18.5	13.6	22.0	10.3	18.4	15.4
Smr	32.3 ± 1.04	0.3 ± 0.01	3.1 ± 0.07	17.4 ± 0.46	0.8 ± 0.02	13.0 ± 0.77	2.4 ± 0.06	12.3 ± 0.54	5.6 ± 0.19
Cv, %	16.1	16.7	10.6	13.3	14.3	29.8	11.3	22.2	16.6
Сила влияния фактора местопо- бления, % The strength of the factor, %	55.5***	58.6***	16.3***	28.7***	51.3***	78.1***	10.5**	73.2***	59.0***

Примечание. ¹ Среднее значение и ошибка; Cv, % — коэффициент вариации, %; *** — влияние фактора достоверно при $p < 0.001$, ** — влияние фактора достоверно при $p < 0.01$.

Note. ¹ Mean and standard error; Cv, % — the coefficient of variation, %; *** — the influence of the factor is significant at $p < 0.001$, ** — the influence of the factor is significant at $p < 0.01$.

ценопопуляции на расстоянии 7.5 разделились на два кластера, один из которых представлен крупной ЦП Rsp (Рассыпное), выявленной в сообществе сбитой солонцеватой степи, расположенном на относительно выровненном участке в условиях небольшого антропогенного воздействия. Растения этой ЦП более мощные по габитусу, у них отмечаются максимальные величины большинства морфометрических параметров. Далее на расстоянии 6.4 ЦП разбились еще на два кластера. Кластер II объединил группу ценопопуляций с минимальными значениями по ряду признаков. На расстоянии 4.9 выделяется ЦП Dmt (Дмитровский), входящая в состав сообщества сухой солонцеватой степи на вершине холма, где отмечено самое низкое проективное покрытие и наименьшие значения высоты генеративного побега, диаметра цветка и диаметра соцветия исследуемого вида. В географически близко расположенных ЦП Glb (Глубокий), Dvp (Дивнополье), Zml (Землянский), входящих в состав сухих солонцеватых степных сообществ, особи *O. fischerianum* имеют минимальные величины таких параметров, как диаметр генеративного побега, число цветков, длина и диаметр соцветия. Кластер III, на расстоянии 6.2, объединил ЦП с высокими или средними значениями морфометрических параметров. В этой группе выделяется самая восточная и южная ЦП Shp (Шаповалово), где особи имеют высокие показатели по числу листьев, длине и ширине листа и ЦП Irt (Иртекские пески) в составе сильно сбитого степного сообщества на песках, с максимальным диаметром цветка, но минимальной длиной листа. Остальные ЦП — Dng (Донгуз), Grn (Горюн) и Smr (Самаркин), имеют средние показатели по всем морфометрическим параметрам. Таким образом, кластерный анализ выявил разделение ЦП *O. fischerianum* не по географическому положению, а по фенотипическим признакам.

По шкале значений коэффициента вариации все признаки обладают нормальной степенью изменчивости ($Cv = 5.2–32.8\%$), для большинства из них характерна «нижняя» норма варьирования ($Cv = 5.2–24.6\%$), реже отмечается «верхняя» норма ($Cv = 25.9–32.8\%$).

Для оценки фенотипического сходства ценопопуляций был использован дискриминантный анализ. Результаты анализа представлены на рисунке 4. Невысокие значения критерия λ Уилкса (0.035–0.051) и уровень достоверности ($p < 0.000$) указывают на статистическую значимость полученных результатов: высокое качество

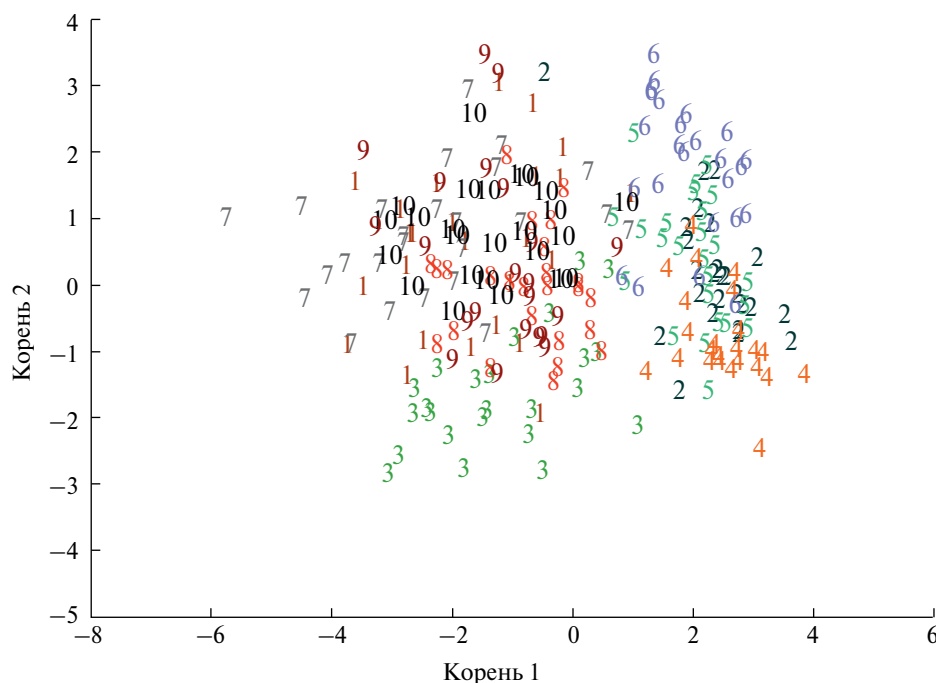


Рис. 4. Результаты дискриминантного анализа ценопопуляций *Ornithogalum fischerianum* по совокупности морфометрических признаков в пространстве первого и второго канонических корней (1—10 номера популяций, соответствующие табл. 1).

Fig. 4. Results of discriminant analysis of *Ornithogalum fischerianum* coenopopulations by the set of morphometric characters represented on the plane defined by the first two canonical roots (1—10 numbers of populations corresponding to Table 1).

дискриминации и надежность выделенных групп. По критерию Фишера наибольшее участие в разделении групп вносит такой признак, как диаметр соцветия ($F = 50.520$), наименьшее — диаметр цветка ($F = 1.893$).

Была оценена также фенотипическая дистанция между объектами или расстояние Махаланобиса. Согласно полученным данным, во всех ЦП особи имеют высокое морфоструктурное разнообразие, наибольшее наблюдается в ЦП Grn (30.2 ± 3.36), минимальное — в ЦП Rsp (4.8 ± 0.41). Проведенный анализ выявил фенотипическое сходство особей в ценопопуляциях, имеющих разное географическое расположение. Лишь единичные особи ЦП 3 (Rsp), 4 (Irt), 7 (Zml) и 9 (Glb) выбиваются из общего массива. В этих ЦП у растений наблюдаются максимальные или минимальные показатели по некоторым морфометрическим параметрам. На рисунке видно, что ни одна из популяций не занимает отдельное пространство. Можно отметить только, что географически близко расположенные ЦП 2, 4—6 образуют отдельное и более плотное облако в правой части рисунка, особи в них наиболее фенотипически сходны.

Одна из главных задач при оценке жизненности — это отбор признаков, являющихся показательными и удобными для измерения. По мнению Ю. А. Злобина [28], при выборе ключевых параметров следует отдавать предпочтение признакам экологически и биологически важным, наиболее вариабельным, вносящим наибольший вклад в главные компоненты, учитывая при этом их взаимосвязь друг с другом.

Для определения жизненности ЦП, после проведенных корреляционного и факторного анализов, выбраны следующие морфологические характеристики: число листьев, длина листа, число цветков, диаметр цветка и длина соцветия. Данный детерминирующий комплекс признаков, по нашему мнению, в полной мере характеризует развитие растений *O. fischerianum* и достаточен для описания виталитетной структуры изученных ЦП (табл. 3).

Во всех ЦП, за исключением ЦП Rsp, преобладали особи среднего класса виталитета (*b*). В ЦП Rsp доминировали особи высшего класса виталитета (*a*). Стоит отметить, что эта ЦП и при визуальной оценке значительно отличалась от остальных высотой растений, развитием соцветий и др. ЦП Rsp

Таблица 3. Характеристики жизненности и виталитетного типа ценопопуляций *Ornithogalum fischerianum*
Table 3. Characteristics of vitality and vitality type of *Ornithogalum fischerianum* coenopopulations

ЦП CP	Относительная частота размерных классов, % Relative frequency of vitality classes, %			Индекс виталитета популяции, <i>IVC</i> Population vitality index, <i>IVC</i>	Индекс I_Q , I_Q index	Индекс качества популяции, Q Quality of population, Q	Виталитетный тип ЦП Vitality type of CP
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>				
Rsp	60.0	40.0	0	1.2	50.0	50.0	Прцветающая Prosperous
Dmt	4.0	96.0	0	0.9	50.0	50.0	
Irt	32.0	60.0	8.0	1.1	5.7	46.0	
Shp	28.0	64.0	8.0	1.1	5.75	46.0	
Dng	4.0	84.0	12.0	1.0	3.7	44.0	
Grn	0	84.0	16.0	0.9	2.6	42.0	
Smr	12.0	72.0	16.0	0.9	2.6	42.0	
Dvp	4.0	72.0	24.0	0.9	1.6	38.0	
Glb	0	72.0	24.0	0.9	1.3	36.0	
Zml	0	60.0	40.0	0.9	0.7	30.0	Депрессивная Depressed

Примечание. *a* — особи высшего класса, *b* — особи среднего класса, *c* — особи низшего класса.

Note. Vitality class of individuals: *a* — high, *b* — intermediate, *c* — low.

произрастает в сбитой солонцеватой степи, условия которой, видимо, являются оптимальными для существования вида. В ЦП Zml доминируют особи низшего класса (*c*), особи с наилучшими показателями развития (*a*) отсутствуют. Эта ЦП произрастает в сухой солонцеватой степи на вершине холма, где уплотненная почва и сухость местообитания, а также наличие кустарников, по-видимому, мешают нормальному развитию особей.

Максимальным уровнем жизненности отличались ЦП Rsp, Irt, Shp и Dng, для которых индекс *IVC* был выше единицы или равен ей (табл. 3). Величины индекса в остальных ЦП варьировали в пределах 0.87—0.99. Несмотря на то, что в настоящее время большая часть этих ценопопуляций по величине индекса Q относится к процветающим, отсутствие в них особей высшего класса виталитета и низкое значение (<1) индекса *IVC*, свидетельствует о неоптимальных условиях для произрастания вида. Скорее всего, без дополнительных мер по охране и восстановлению, исследованные ЦП со временем могут перейти в депрессивное состояние.

Индекс размерной пластичности (*ISP*) *O. fischerianum* составляет 1.37, что согласуется с таковым для редких травянистых растений: в частности, *ISP* для *Tulipa gesneriana* L. равен 1.9, а для *Cephalantera rubra* (L.) Rich. — 1.31 [35].

Таким образом, оценка жизненного состояния ЦП *O. fischerianum* указывает на способность данного вида успешно адаптироваться к среде обитания и длительно существовать в районе исследования. Депрессивное состояние ЦП Zml свидетельствует о негативном влиянии уплотненной почвы и закустаренности местообитания.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, проведенные на территории Оренбургской обл. исследования ценопопуляций птицемлечника Фишера *Ornithogalum fischerianum* Krasch. (Hyacinthaceae) показали, что вид произрастает преимущественно в южных и юго-западных районах, в сухих пустынножитняково-лерхополынных, реже лерхополынно-ковыльковых (*Agropyron desertorum*, *Artemisia lercheana*, *Stipa lessingiana*, *Kochia prostrata*) степях на солонцеватых почвах, изредка на сбитых песчаных местообитаниях и на залежах.

Наибольшими значениями изученных морфометрических параметров отличается ЦП Рассыпное, находящаяся в более благоприятных для вида условиях местообитания (умеренно антропогенно нарушенная сбитая солонцеватая степь). Наименьшие величины морфометрических параметров выявлены в ЦП Дмитровский и Землянский, расположенных в сообществах на вершинах холмов,

где из-за уплотненной почвы и повышенной сухости местообитаний растения не могут нормально развиваться. Установлено статистически значимое влияние условий местообитания на большинство изучаемых морфометрических параметров особей *O. fischerianum*, уровень факторизации составил от 10 до 78%.

Результаты дискриминантного анализа показали, что особи в большинстве ЦП имеют довольно высокое морфоструктурное разнообразие. Наибольшее фенотипическое разнообразие наблюдается в ЦП Горюн, наименьшее — в ЦП Рассыпное. Исследованные ЦП *O. fischerianum*, на основе различий морфологических параметров особей, объединились в три кластера. Согласно результатам виталитетного анализа, все ЦП являются процветающими, кроме ЦП Землянский, которая отнесена к депрессивным.

В целом состояние обследованных ценопопуляций *O. fischerianum* достаточно стабильное. Разреженный травостой, по-видимому, благоприятен для возобновления вида. Особого внимания требуют только малочисленные ценопопуляции, для которых могут быть рекомендованы восстановительные, реинтродукционные мероприятия,

например, подсев семян из других, более благополучных ценопопуляций. Возможность проведения таких мероприятий должна быть исследована дополнительно. Тем не менее, поскольку вид представлен в основном небольшими локалитетами, необходим постоянный мониторинг его ценопопуляций, особенно в современных условиях, когда пастбищная нагрузка снизилась, и во многих местах наблюдается повышение участия в покрове дерновинных злаков и кустарников, которые неблагоприятно влияют на состояние ценопопуляций вида. Интродукционные испытания по введению *O. fischerianum* в культуру также могут способствовать его сохранению и стать источником семян и молодых растений для восстановления природных ценопопуляций.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена по теме ЮУБСИ УФИЦ РАН «Биоразнообразие природных систем и растительные ресурсы России: оценка состояния и мониторинг динамики, проблемы сохранения, воспроизводства, увеличения и рационального использования» в рамках государственного задания УФИЦ РАН № 122033100041-9.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамова Л. М., Широких П. С., Голованов Я. М., Крюкова А. В., Мустафина А. Н. 2019. К экологии редких степных ирисов на Южном Урале. — Вестник Томского университета. 48: 56—72. <https://doi.org/10.17223/19988591/48/3>
2. Каримова О. А., Абрамова Л. М., Мустафина А. Н., Голованов Я. М. 2018. Состояние ценопопуляций *Anthemis trotskiana* (Asteraceae) в Оренбургской области. — Бот. журн. 103(6): 740—754. <https://doi.org/10.1134/S0006813618060042>
3. Каримова О. А., Абрамова Л. М., Голованов Я. М. 2017. Анализ современного состояния популяций редких видов растений памятника природы Троицкие меловые горы. — Аридные экосистемы. 23(1): 51—59. <https://elibrary.ru/item.asp?id=29102377>
4. Мустафина А. Н., Абрамова Л. М., Каримова О. А. 2023. Онтогенез и структура популяций *Rindera tetraspis* Pall. (Boraginaceae) в Оренбургской области. — Аридные экосистемы. 29(4): 48—55. <https://elibrary.ru/item.asp?id=56573345>
5. Маевский П. Ф. 2014. Флора средней полосы европейской части России. 11-е изд. М. 635 с.
6. Агапова Н. Д. 1977. Род *Ornithogalum* L. — орнитогалум или птицемлечник. Декоративные травянистые растения для открытого грунта СССР. Л. С. 176—184.
7. Агапова Н. Д. 1979. Род Птицемлечник — *Ornithogalum* L. — В кн.: Флора Европейской части СССР. Т. 4. Л. С. 243—250.
8. Очирова К. С., Дорджиева В. И., Лиджиева А. Н. 2020. Анатомическое строение листьев представителей птицемлечника Фишера, произрастающих на территории Калмыкии. — В сб.: Сборник научных трудов студентов. Сборник статей. Элиста. С. 19—22.
9. Pigliucci M., Politi M. G., Bellincampi D. 1991. Implications of phenotypic plasticity for numerical taxonomy of *Ornithogalum montanum* (Liliaceae). — Can. J. Bot. 69(1): 34—38. <https://doi.org/10.1139/b91-006>

10. Kariuki W., Kako S. 1999. Growth and flowering of *Ornithogalum saundersiae* Baker. — Sci. Hortic. (Amsterdam). 81(1): 57—70.
[https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(98\)00233-7](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(98)00233-7)
11. Kwiatkowska M., Popłowska K., Kaźmierczak A., Stepiński D., Rogala K., Polewczyk K. 2007. Role of DNA endoreplication, lipotubuloids, and gibberellic acid in epidermal cell growth during fruit development of *Ornithogalum umbellatum*. — J. Exp. Bot. 58(8): 2023—2031.
<https://doi.org/10.1093/jxb/erm071>
12. Tang Y., Li N., Duan J.-A., Tao W. 2013. Structure, bioactivity, and chemical synthesis of OSW-1 and other steroidal glycosides in the genus *Ornithogalum*. — Chem. Rev. 113(7): 5480—5514.
<https://doi.org/10.1021/cr300072s>
13. Yin S., Sun Y.-J., Liu M., Li L.-N., Kong J.-Q. 2016. cDNA Isolation and Functional Characterization of UDP-d-glucuronic Acid 4-Epimerase Family from *Ornithogalum caudatum*. — Molecules. 21(11): 1505.
<https://doi.org/10.3390/molecules21111505>
14. Павлова М.А. 2010. Особенности формирования интродукционных популяций некоторых видов рода *Ornithogalum* L. в условиях юго-востока Украины. — Промышленная ботаника. 10: 90—95.
<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37315109>
15. Седельникова Л.Л., Кукушкина Т.А. 2009. Сезонная динамика накопления запасных веществ в луковичах *Scilla sibirica* и *Ornithogalum ponticum*. — Химия в интересах устойчивого развития. 17(4): 417—421.
<https://elibrary.ru/item.asp?id=12834033>
16. Павлова М.А. 2011. Внутривидовая изменчивость морфологических признаков *Ornithogalum bellatum* L. в условиях Донецкого ботанического сада НАН Украины. — Промышленная ботаника. 11: 230—235.
<https://elibrary.ru/item.asp?id=37315191>
17. Косарева Л.В., Ефремова Л.П., Окач М.А. 2020. Декоративные признаки птицемлечников в условиях климата республики Марий Эл. — Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 1—1(40): 14—17.
<https://doi.org/10.24411/2500-1000-2020-10003>
18. Глубишева Т.Н. 2021. Результаты интродукционных испытаний *Ornithogalum kochii* Parl. — Известия Горского государственного аграрного университета. 58(3): 161—165.
<https://elibrary.ru/item.asp?id=46596812>
19. Крашенинников И.М. 1935. *Ornithogalum fischerianum* — Птицемлечник Фишера. — В кн.: Флора СССР. Т. 4. Л. С. 392—393.
20. Перечень редких и находящихся под угрозой исчезновения видов растений и животных. Постановление Правительства Республики Казахстан от 31 октября 2006 года. № 1034.
<https://adilet.zan.kz/rus/docs/P060001034>
21. Красная книга Самарской области. 2017. Т. 1. Редкие виды растений и грибов. Самара. 284 с.
22. Красная книга Челябинской области: животные, растения, грибы. 2017. М. 504 с.
<http://oort.aari.ru/ref/2226>
23. Красная книга Воронежской области. 2011. Том 1. Растения. Лишайники. Грибы. Воронеж. 472 с. <http://oort.aari.ru/ref/308>
24. Седельникова Л.Л., Кукушкина Т.А. 2012. Содержание некоторых групп соединений в подземных органах видов родов *Crocus*, *Gladiolus* (Iridaceae), *Scilla*, *Muscari*, *Ornithogalum* (Hyacinthaceae). — Раст. ресурсы. 48(3): 383—389.
<https://elibrary.ru/item.asp?id=17823112>
25. Седельникова Л.Л., Кукушкина Т.А. 2015. Содержание некоторых групп соединений вегетативных органов *Ornithogalum bellatum* (Hyacinthaceae). — Вестник КрасГАУ. 4: 116—120.
<https://elibrary.ru/item.asp?id=23676292>
26. Mimaki Y., Kuroda M., Sashida Y., Hirano T., Oka K., Dobashi A., Koshino H., Uzawa J. 1996. Three novels rearranged cholestane glycosides from *Ornithogalum saundersiae* bulbs and their cytostatic activities on leukemia HL-60 and MOLT-4 cells. — Tetrahedron Lett. 37(8): 1245—1248.
[https://doi.org/10.1016/0040-4039\(95\)02407-7](https://doi.org/10.1016/0040-4039(95)02407-7)
27. Chen Q.-W., Zhang X., Gong T., Gao W., Yuan S., Zhang P.-C., Kong J.-Q. 2019. Structure and bioactivity of cholestane glycosides from the bulbs of *Ornithogalum saundersiae* Baker. — Phytochemistry. 164: 206—214.
<https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2019.05.016>
28. Злобин Ю.А., Скляр В.Г., Клименко А.А. 2013. Популяции редких видов растений: теоретические основы и методика изучения. Сумы. 439 с.
29. Злобин Ю.А. 2011. Редкие виды растений: флористический, фитоценотический и популяционный подход. — Журнал общей биологии. 72(6): 422—435.

<https://elibrary.ru/item.asp?id=17676901>

30. Миркин Б. М., Наумова Л. Г. 2012. Современное состояние основных концепций науки о растительности. Уфа. 488 с.
31. Голубев В. Н. 1962. Основы биоморфологии травянистых растений центральной лесостепи. Тр. Центрально-черноземного заповедника им. В. В. Алехина. Воронеж. Вып. 7. 511 с.
32. Ишбирдин А. Р., Ишмуратова М. М., Жирнова Т. В. 2005. Стратегии жизни ценопопуляции *Cephalanthera rubra* (L.) Rich. на территории Башкирского гос. Заповедника. — Вестник Нижегородского ун-та им. Н. И. Лобачевского. Сер. Биология. 1: 85—98.
<http://www.vestnik.unn.ru/ru/nomera?anum=162>
33. Зайцев Г. Н. 1990. Математика в экспериментальной биологии. М. 296 с.
34. Халафян А. А. 2008. STATISTICA 6. Статистический анализ данных. 3-е изд. М. 512 с.
35. Кашин А. С., Петрова Н. А., Шилова И. В. 2016. Особенности экологической стратегии *Tulipa gesneriana* L. (Liliaceae, Liliopsida). — Поволж. экол. журн. 2: 209—221.
<https://doi.org/10.18500/1684-7318-2016-2-209-221>

Biology of *Ornithogalum Fischerianum* (Hyacinthaceae) in the Orenburg Region

©2024. A. N. Mustafina*, L. M. Abramova

South-Ural Botanical Garden-Institute of Ufa Federal Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences

*e-mail: alfverta@mail.ru

Abstract — The morphometric variability and vital state of the understudied ornamental species *Ornithogalum fischerianum* Krasch. (Hyacinthaceae) in 10 natural coenopopulations (CP) of the Orenburg Region were studied. It was found that the species prefers dry alkaline steppes, and is occasionally found in sandy habitats and fallows. The variability of all studied traits is within the species' reaction norms ($C_v = 5.7–32.8\%$). For most morphometric parameters, the highest values were determined in the Rassypnoye CP, and the lowest — in the Dmitrovsky and Zemlyansky CPs. The results of the discriminant analysis show the noticeable morphometric structural diversity of individuals in most CPs. The highest phenotypic diversity is observed in the Goryun CP, and the lowest in the Rassypnoye CP. The vitality type of most coenopopulations is prosperous, one coenopopulation is classified as depressive. It was found that the species does well in disturbed steppes, where there is no or reduced competition with large turf grasses, but soil compaction, on the contrary, negatively affects its growth and development. Despite the fair stability of most *O. fischerianum* coenopopulations, many of them are small, so further monitoring of the species' habitats is necessary.

Keywords: *Ornithogalum fischerianum*, ornamental species, Orenburg region, coenopopulation, morphometric parameters, variability, vitality

ACKNOWLEDGMENTS

The work was carried as part of research project “Biodiversity of natural systems and plant resources of Russia: assessment of the state and monitoring of dynamics, problems of conservation, reproduction, increase and rational use” within the framework of the state assignment of South-Ural Botanical Garden-Institute of Ufa Federal Scientific Centre of RAS No. 122033100041-9.

REFERENCES

1. Abramova L. M., Shirokikh P. S., Golovanov Ya. M., Kryukova A. V., Mustafina A. N. 2019. On the ecology of rare steppe irises in the South Urals. — Tomsk State University Journal of Biology. 48: 56—72.
<https://doi.org/10.17223/19988591/48/3> (In Russian)
2. Karimova O. A., Abramova L. M., Mustafina A. N., Golovanov Ya. M. 2018. State of coenopopulations of *Anthemis trozkiana* (Asteraceae) in Orenburg Region. — Bot. zhurnal. 103(6): 740—754.
<https://doi.org/10.1134/S0006813618060042> (In Russian)
3. Karimova O. A., Abramova L. M., Golovanov Ya. M. 2017. Analysis of the current status of populations of rare plant species of mature monument Troicky Chalk Mountains (Orenburg Region). — Arid Ecosyst. 7(1): 41—48.
<https://doi.org/10.1134/S2079096117010073> (In Russian)

4. Mustafina A. N., Abramova L. M., Karimova O. A. 2023. Ontogenesis and structure of population of *Rindera tetraspis* Pall. (Boraginaceae) in Orenburg Region. — Arid Ecosyst. 13(4): 412—418.
<https://doi.org/10.1134/S2079096123040091>
5. Maevsky P. F. 2014. [Flora of the central part of European Russia]. 11th ed. Moscow. 635 p. (In Russian)
6. Agapova N. D. 1977. [Genus *Ornithogalum* L. Ornamental herbaceous plants for open ground of the USSR]. Leningrad. P. 176—184. (In Russian)
7. Agapova N. D. 1979. [The genus *Ornithogalum* L.] — In: [Flora of the European part of the USSR. Vol. 4]. Leningrad. P. 243—250. (In Russian)
8. Ochirova K. S., Dordzhieva V. I., Lidzhieva A. N. 2020. [Anatomical structure of the leaves of *Ornithogalum fischerianum* growing in Kalmykia]. — In: [Collection of scientific papers of students]. Elista. P. 19—22.
9. Pigliucci M., Politi M. G., Bellincampi D. 1991. Implications of phenotypic plasticity for numerical taxonomy of *Ornithogalum montanum* (Liliaceae). — Can. J. Bot. 69(1): 34—38.
<https://doi.org/10.1139/b91-006>
10. Kariuki W., Kako S. 1999. Growth and flowering of *Ornithogalum saundersiae* Baker. — Sci. Hortic. (Amsterdam). 81(1): 57—70.
[https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(98\)00233-7](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(98)00233-7)
11. Kwiatkowska M., Popłońska K., Kaźmierczak A., Stepiński D., Rogala K., Polewczyk K. 2007. Role of DNA endoreduplication, lipotubuloids, and gibberellic acid in epidermal cell growth during fruit development of *Ornithogalum umbellatum*. — J. Exp. Bot. 58(8): 2023—2031.
<https://doi.org/10.1093/jxb/erm071>
12. Tang Y., Li N., Duan J.-A., Tao W. 2013. Structure, bioactivity, and chemical synthesis of OSW-1 and other steroidal glycosides in the genus *Ornithogalum*. — Chem. Rev. 113(7): 5480—5514.
<https://doi.org/10.1021/cr300072s>
13. Yin S., Sun Y.-J., Liu M., Li L.-N., Kong J.-Q. 2016. CDNA isolation and functional characterization of UDP-d-glucuronic acid 4-epimerase family from *Ornithogalum caudatum*. — Molecules. 21(11): 1505.
<https://doi.org/10.3390/molecules21111505>
14. Pavlova M. A. 2010. Formation of introduction populations of some species of *Ornithogalum* L. genus. — Industrial Botany. 10: 90—95.
<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37315109> (In Russian)
15. Sedelnikova L. L., Kukushkina T. A. 2009. [Seasonal dynamics of the accumulation of the storage compounds in the bulbs of *Scilla sibirica* and *Ornithogalum ponticum*]. — Chemistry for Sustainable Development. 17(4): 417—421.
<https://elibrary.ru/item.asp?id=12834033> (In Russian)
16. Pavlova M. A. 2011. Intraspecific variation of morphological characters of *Ornithogalum umbellatum* L. under conditions of Donetsk Botanical Garden of NAS of Ukraine. — Industrial Botany. 11: 230—235.
<https://elibrary.ru/item.asp?id=37315191> (In Russian)
17. Kosareva L. V., Efremova L. P., Okach M. A. 2020. Decorative characteristics of *Ornithogalum* species in the climate of the Republic of Mari El. — International Journal of Humanities and Natural Sciences. 1—1(40): 14—17.
<https://doi.org/10.24411/2500-1000-2020-10003> (In Russian)
18. Glubsheva T. N. 2021. Results of introduction tests of *Ornithogalum kochii* Parl. — Proceedings of Gorsky State Agrarian University. 58(3): 161—165.
<https://elibrary.ru/item.asp?id=46596812> (In Russian)
19. Krashenninnikov I. M. 1935. *Ornithogalum fischerianum*. — In: Flora of the URSS. Vol. 4. Leningrad. P. 392—393. (In Russian)
20. [On the approval of the List of rare and endangered species of plants and animals. Decree of the Government of the Republic of Kazakhstan dated October 31, 2006]. No. 1034.
https://adilet.zan.kz/rus/docs/P060001034_
21. [Red Book of the Samara Region. 2017. Vol. 1. Rare species of plants and fungi]. Samara. 284 p. (In Russian)
22. [Red Book of the Chelyabinsk region: animals, plants, fungi]. 2017. Moscow. 504 p.
<http://oopt.aari.ru/ref/2226> (In Russian)
23. [Red Book of the Voronezh Region. 2011. Vol. 1. Plants. Lichens. Fungi]. Voronezh. 472 p.
<http://oopt.aari.ru/ref/308> (In Russian)

24. Sedelnikova L. L., Kukushkina T. A. 2012. The content of some groups of compositions in the below-ground parts of *Crocus*, *Gladiolus* (Iridaceae), *Scilla*, *Muscari*, *Ornithogalum* (Hyacinthaceae). — *Rastitelnye Resursy*. 48(3): 383—389. <https://elibrary.ru/item.asp?id=17823112> (In Russian)
25. Sedelnikova L. L., Kukushkina T. A. 2015. The content of some combination groups of the vegetative organs of *Ornithogalum bellatum* (Hyacinthaceae). — *The Bulletin of KrasGAU*. 4: 116—120. <https://elibrary.ru/item.asp?id=23676292> (In Russian)
26. Mimaki Y., Kuroda M., Sashida Y., Hirano T., Oka K., Dobashi A., Koshino H., Uzawa J. 1996. Three novels rearranged cholestane glycosides from *Ornithogalum saundersiae* bulbs and their cytostatic activities on leukemia HL-60 and MOLT-4 cells. — *Tetrahedron Lett.* 37(8): 1245—1248. [https://doi.org/10.1016/0040-4039\(95\)02407-7](https://doi.org/10.1016/0040-4039(95)02407-7)
27. Chen Q.-W., Zhang X., Gong T., Gao W., Yuan S., Zhang P.-C., Kong J.-Q. 2019. Structure and bioactivity of cholestane glycosides from the bulbs of *Ornithogalum saundersiae* Baker. — *Phytochemistry*. 164: 206—214. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2019.05.016>
28. Zlobin Yu. A., Sklyar V. G., Klimenko A. A. 2013. [Populations of rare plant species: theoretical foundations and methods of study]. Sumy. 439 p. (In Russian)
29. Zlobin Yu. A. 2012. Rare plant species: floristic, phytocenotic and population approaches. — *Biology Bulletin Reviews*. 2(3): 226—237. <https://doi.org/10.1134/S2079086412030073>
30. Mirkin B. M., Naumova L. G. 2012. [The current state of the basic concepts of vegetation science]. Ufa. 488 p. (In Russian)
31. Golubev V. N. 1962. [The fundamentals of biomorphology of herbaceous plants of the central forest-steppe]. 511 p. (In Russian)
32. Ishbirdin A. R., Ishmuratova M. M., Zhirnova T. V. 2005. [Life strategies of the *Cephalanthera rubra* (L.) Rich. in the Bashkir State Nature Reserve]. — *Vestnik of Lobachevsky University of Nizhni Novgorod. Ser. Biology*. 1: 85—98. <http://www.vestnik.unn.ru/ru/nomera?anum=162> (In Russian)
33. Zaitsev G. N. 1990. *Mathematics in experimental biology*. Moscow. 296 p. (In Russian)
34. Khalafyan A. A. 2008. [STATISTICA 6. Statistical analysis of data]. 3rd ed. Moscow. 512 p. (In Russian)
35. Kashin A. S., Petrova N. A., Shilova I. V. 2017. Some features of the environmental strategy of *Tulipa gesneriana* L. (Liliaceae, Liliopsida). — *Biology Bulletin*. 44(12): 1237—1245. <https://doi.org/10.1134/S1062359017100053>

КОМПОНЕНТНЫЙ СОСТАВ РЕСУРСНЫХ ВИДОВ

УДК 581.192:582.715

ФЕНОЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ И ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ РАСТЕНИЙ *RHODIOLA ROSEA* (CRASSULACEAE), ПРОИЗРАСТАЮЩИХ НА ТЕРРИТОРИИ ГОРНОГО АЛТАЯ

© 2024 г. Л. Н. Зибарева*, А. С. Прокопьев, Е. С. Рабцевич

Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия

*e-mail: zibareva.lara@yandex.ru

Поступила в редакцию 21.11.2023

После доработки 12.02.2024

Принята к публикации 13.02.2024

В статье представлен сравнительный анализ фенольных соединений подземных частей (корневища с корнями) растений *Rhodiola rosea* L. (Crassulaceae) из природных ценопопуляций Горного Алтая и выращиваемых в культуре в Сибирском ботаническом саду ТГУ (г. Томск). В исследованных образцах идентифицированы галловая кислота, салидрозид и розавин. Содержание салидрозида в образцах дикорастущих особей *R. rosea* варьирует от 0.02 до 0.48%, а розавина — 0.77–1.57% от массы абсолютно сухого сырья. Уровень содержания галловой кислоты во всех образцах примерно одинаков — 0.1%. Выполненный анализ показал более высокое содержание салидрозида в подземных органах культивируемых растений *R. rosea* по сравнению с растениями из природных условий при сходном содержании розавина.

Установлено, что элементный состав подземных частей растений родиолы розовой, произрастающих на территории Горного Алтая, очень богат и разнообразен. Кроме таких макро- и микроэлементов как Mg, K, Fe, Mn, Rb, Cr, Sr, Zn, Ba, Mo, Co, в них обнаружены редко выявляемые Ti, Ga, Nb, La, Ho, Gd и др. По уровню содержания химических элементов в подземных органах и в почве исследованные образцы *R. rosea* из разных мест произрастания разделены на 3 группы. Для первой группы характерен низкий уровень содержания элементов в растительном сырье при высоком содержании в почве. Вторую группу отличает высокое содержание элементов в подземных частях растений при низком содержании в почве. Третьей группе свойственно высокое содержание элементов и в подземных частях растений, и в почве.

Ключевые слова: *Rhodiola rosea*, фенольные соединения, элементный состав, подземные органы, почва, Горный Алтай

DOI: 10.31857/S0033994624020063, **EDN:** PYENBK

Представители рода *Rhodiola* L. (родиола) из семейства толстянковые (Crassulaceae) — ценные лекарственные растения, широко применяемые в медицине. Многие виды этого рода являются редкими, и, в связи с их ценными свойствами, охраняются на федеральном (*R. rosea* L.) [1] и региональном (*R. algida* (Ledeb.) Fisch. et C. A. Mey., *R. coccinea* (Royle) Boriss., *R. pinnatifida* Boriss., *R. quadrifida* (Pall.) Fisch. et C. A. Mey. и др.) уровнях. На территории Сибири виды рода *Rhodiola* включены в Красные книги Красноярского и Алтайского краев, Республик Алтай, Хакасия и др.

Поскольку представители рода *Rhodiola* имеют высокую практическую значимость и охранный статус, исследованию их биологии в природных популяциях и в условиях интродукции уделялось много внимания. Наиболее полные сведения

о ритмах роста и развития, структуре ценопопуляций, особенностях физиологии представлены в работах отечественных исследователей для *R. rosea* [2–7]. Исследования видов *Rhodiola* проведены в различных интродукционных центрах России [8–10] и стран зарубежья [11–13]. На основе многолетнего мониторинга оценена их устойчивость в культуре и даны рекомендации по выращиванию. На территории Сибири в интродукционный эксперимент были включены *R. algida*, *R. coccinea*, *R. pinnatifida*, *R. quadrifida* и *R. rosea* [14]. По результатам испытаний два вида (*R. rosea* и *R. pinnatifida*) отнесены к устойчивым в культуре на территории Сибири. Остальные виды в культуре оказались неперспективными или требующими особых условий выращивания. В связи со сложностями культивирования и ограниченными ресурсами

в природе для некоторых видов рода *Rhodiola* (*R. rosea*, *R. iredemica*, *R. algida*, *R. quadrifida*) разработаны способы микрклонального размножения *in vitro* [15–18].

Компонентный состав экстрактивных веществ более детально изучен для *R. rosea* [19–21]. На основе биологически активных веществ получены лекарственные препараты в виде экстрактов, сиропов, используемых в официальной медицине. Препараты родиолы розовой обладают тонизирующим и стимулирующим действием и применяются при простуде, неврозе, астенических состояниях, гипотонии; они снимают сердечную боль, усталость, повышают работоспособность [19].

Известно, что в подземных органах *R. rosea* содержатся сахара, дубильные вещества, эфирное масло, органические кислоты, фенолгликозиды (розавин, розарин, розин, салидрозид, тирозол), флавоноиды (родионин, родиолин, родиозин, ацетилродальгин) и др. [19, 20]. Приоритет первых химических исследований видов рода *Rhodiola* принадлежит томским ученым [19, 21]. Фенольные гликозиды родиолозид, салидрозид и розавин считаются основными действующими веществами и обладают ярко выраженными адаптогенными и стимулирующими нервную систему свойствами, подобно препаратам женьшеня, аралии и элеутерококка. Показано, что салидрозид и производные коричневого спирта проявляют антиоксидантную активность [22] и могут участвовать в процессах детоксикации активных форм кислорода, образующихся при действии биотических и абиотических стрессоров, следовательно, играют важную роль в адаптации растений к неблагоприятным условиям произрастания. Другой функцией этих веществ может являться защита растения от патогенов и фитофагов. Возможно, этим свойством объясняется факт отсутствия повреждений подземных органов насекомыми за время проведения исследований культивируемых и дикорастущих растений родиолы розовой.

Основные промышленные заросли родиолы розовой в России находятся на Алтае и в Западном Саяне на высоте 1500–2500 м над ур. м. Природные местообитания родиолы розовой отличаются суровым климатом. В течение вегетационного периода растения претерпевают значительные сезонные и суточные перепады температуры, в условиях высокогорий испытывают воздействие жесткого УФ-излучения. В зависимости от условий местообитания мощность корневой системы

варьирует в широких пределах, с увеличением высоты наблюдается интенсивное возрастание массы подземных органов по отношению к надземной фитомассе [19].

Результаты многолетних исследований [23, 24], начиная с 1966 г., показали, что содержание салидрозида в подземных частях *R. rosea* зависит от различных факторов, в том числе и места произрастания. Так, содержание салидрозида в корневищах с корнями, собранных в горах Южной Сибири, Восточно-Казахстанской, Талды-Курганской и Алма-Атинской областей Казахстана, колеблется в интервале от 0.8 до 1.5% [19]. Показано, что у мужских и женских особей родиолы розовой, произрастающих на альпийских лугах, в фазу цветения наблюдается повышенное содержание салидрозида, которое уменьшается по мере снижения высоты над уровнем моря [25].

Установлено, что содержание салидрозида и розавина зависит от условий произрастания и на северо-западе России, в Норвегии, на Урале [26]. Содержание салидрозида в корневищах растений изменялось от 9 до 20 мг/г (0.9–2.0% сухой массы). Максимальное накопление этого гликозида обнаружили в подземных частях особей, произрастающих на скалах побережья Баренцева моря (Норвегия) и на обнажениях коренных пород с незначительным почвенным слоем на Урале. Минимальное содержание салидрозида выявлено в алтайских экземплярах — 8.9 и 10.5 мг/г сухой массы. Максимальное содержание (32 мг/г) розавина было выявлено в корневищах растений субальпийского пояса на Приполярном Урале, минимальное (10–12 мг/г) — в образцах, собранных на островах и побережье Баренцева моря. Культивируемые растения не уступали по накоплению розавина дикорастущим особям.

На большом материале из географически удаленных точек природного ареала и культивируемых растениях установлено, что продукты специализированного метаболизма — салидрозид и розавин — накапливаются в подземной части родиолы розовой, при этом концентрация гликозидов в корневищах в 1.5–2 раза выше, чем в корнях [26].

Определение элементного состава лекарственного растительного сырья является важным этапом комплексного фитохимического исследования, поскольку растения могут избирательно накапливать те или иные макро- и микроэлементы, которые в составе минеральных комплексов с различными

биологически активными веществами (БАВ) могут переходить в состав лекарственных растительных препаратов и, благодаря этому, расширять (корректировать, потенцировать и/или изменять) спектр их фармакологических эффектов. Кроме того, элементы имеют собственную фармакологическую активность и оказывают влияние на осуществление ряда физиологических процессов в организме человека [27]. Известно, что участие микро- и макроэлементов в метаболизме связано с построением скелета (кальций, фосфор), поддержанием осмотического давления (натрий, калий), кроветворением (железо, медь). Многие из них являются активаторами и кофакторами ферментов (магний, медь, железо и др.).

Состав макро- и микроэлементов растений отражает элементный состав почвенной среды. Главный путь поступления металлов в растения — абсорбция корнями. В большинстве случаев скорость поглощения элементов положительно коррелирует с содержанием их доступных форм. На эту главную закономерность оказывают влияние ряд факторов: 1) реакция среды; 2) концентрация кальция, магния и других ионов; 3) такие свойства почвенной среды как температура, аэрация, окислительно-восстановительный потенциал; 4) вид растений и стадия его развития. Поэтому зависимость между степенью загрязнения почвы тяжелыми металлами и интенсивностью их поступления в растения является сложной и не носит функционального характера. Объясняется это тем, что не все растения обладают одинаковой способностью накапливать тяжелые металлы. Это свойство связано с наличием у растений, в разной степени выраженных, различных физиолого-биохимических защитных механизмов, препятствующих поступлению токсичных элементов.

Цель работы — определение состава основных фенольных соединений, макро- и микроэлементов в подземных частях *Rhodiola rosea* и элементного состава почвы в природных условиях на территории Горного Алтая и в условиях интродукции.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

R. rosea — сукулентнолиственный травянистый короткоризовый поликарпик с удлиненным прямостоячим побегом, гемикриптофит [28, 29]. Арктовысокогорный вид с дизъюнктивным евразийским ареалом. Произрастает в горах Арктической, Восточной (Двино-Печорский и Волжско-Камский р-ны) и Западной Европы,

Скандинавских странах, в Средней Азии, в Монголии, Китае [4]. Значительный участок ареала охватывает горы Южной Сибири [30]. *R. rosea* распространена в субальпийском и альпийском поясах гор, по берегам рек спускается в пределы лесного пояса. Максимальное обилие отмечено в субальпийском поясе на верхних участках склонов долин. Произрастает в местах с длительным сохранением снежного покрова, по временным водотокам, берегам рек, на каменистых россыпях и скалистых обнажениях. В альпийском поясе встречается на моренах, по склонам каров и цирков. *R. rosea* обычна, но менее обильна на альпийских лугах [4, 30, 31].

Объект настоящего исследования — подземные органы (корневища с корнями) растений *Rhodiola rosea*, собранные в природных условиях на территории Горного Алтая и в условиях интродукции (Сибирский ботанический сад ТГУ, г. Томск). Происхождение образцов *Rhodiola rosea*, в которых определяли содержание фенольных соединений, макро- и микроэлементов, представлено в таблице 1.

Отбор проб осуществляли в фазу плодоношения растений (июль–август). В каждой из исследуемых ценопопуляций *R. rosea* на учетных площадках проводили отбор части корневища не менее чем у 20 экземпляров. Анализировали среднюю пробу корневищ с корнями из каждой ценопопуляции. Одновременно с этим в прикорневой зоне особей *R. rosea* производили забор почвенного грунта на глубину до 20 см. Анализировали среднюю пробу грунта из каждой ценопопуляции.

Приготовление экстрактов: навеску воздушно-сухого сырья корневищ с корнями массой 1–2 г 3-кратно экстрагировали 70%-ным этиловым спиртом на водяной бане при температуре 55 °С. Полученные экстракты объединяли и концентрировали. Концентрирование проводили с использованием ротационного испарителя (IKA RV 10, Германия) при температуре до 50 °С. Влажность сырья определяли с помощью анализатора влажности (ANDML-50, Япония).

Анализ содержания салидрозидов и розавина выполняли методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) на жидкостном хроматографе Shimadzu LC-20AD (Япония). Условия анализа БАВ: диодно-матричный детектор, хроматографическая колонка Perfect Sil Target ODS-3; 4.6 × 250 мм, размер зерен сорбента — 5 мкм. В результате разработки методики ВЭЖХ

Таблица 1. Список образцов *Rhodiola rosea*
Table 1. List of *Rhodiola rosea* samples

№ образца No. sample	Место, условия произрастания Place, growing conditions
Rr1	г. Томск, Сибирский ботанический сад ТГУ (СибБС ТГУ), h = 100 м н. у. м. Образец привлечен в интродукцию из Республики Алтай. Tomsk, Siberian Botanical Garden TSU (SibBG TSU), h = 100 m a. s. l. The specimen was introduced from the Altai Republic
Rr2	Республика Алтай, Кош-Агачский район, Южно-Чуйский хребет, окр. Софийского ледника, долина реки Аккол, несформировавшиеся растительные группировки на галечнике по берегу реки, h = 2453 м. н. у. м. Altai Republic, Kosh-Agach district, South Chuisky ridge, near Sofia glacier, Akkol river valley, unformed plant groups on pebbles along the river bank, h = 2453 m a. s. l.
Rr3	Республика Алтай, Кош-Агачский район, окр. с. Чаган-Узун, гора Сукор, фрагмент альпийского разнотравного луга в ложбине водостока, h = 2728 м н. у. м. Altai Republic, Kosh-Agach district, near Chagan-Uzun village, Sukor mountain, fragment of alpine herb meadow in the drainage hollow, h = 2728 m a. s. l.
Rr4	Республика Алтай, Кош-Агачский район, Северо-Чуйский хребет, окр. ледника Актру, крутой левый борт долины реки Актру, несформировавшиеся разнотравные растительные группировки в глубоком овраге с осыпающимися щебнистыми стенками, h = 2380 м н. у. м. Altai Republic, Kosh-Agach district, North Chuisky ridge, near Aktru glacier, steep left side of the Aktru river valley, unformed plant groups in a deep ravine with crumbling rubble walls, h = 2380 m a. s. l.
Rr5	Республика Алтай, Кош-Агачский район, окр. с. Курай, Курайский хребет, альпийский луг на склоне вдоль ручья, h = 2715 м н. у. м. Altai Republic, Kosh-Agach district, near Kurai village, Kuraisky ridge, alpine meadow on a slope along a stream, h = 2715 m a. s. l.
Rr6	Республика Алтай, Чемальский район, Хребет Иолго, Каракольские озера, субальпийское разнотравье среди кедрового редколесья на склоне, h = 1840 м н. у. м. Altai Republic, Chermal region, Iolgo Ridge, Karakol Lakes, subalpine herbs among cedar woodlands on the slope, h = 1840 m a. s. l.

анализа вторичных метаболитов образцов родиолы протестирован ряд хроматографических систем, оптимальное разделение пиков многокомпонентных этанольных экстрактов достигнуто в системе ацетонитрил (А), 0.1% трифторуксусная кислота (Б), градиент А: 10—15% 0—10 мин, 15—30% 10—60 мин. Время анализа 60 мин. Скорость элюирования 1 мл/мин. Объем пробы 5 мкл. Аналитическая длина волны $\lambda_{\max} = 254$ нм для регистрации розавина и $\lambda_{\max} = 276$ нм — для салидрозида. Идентификацию сигналов на хроматограммах осуществляли сопоставлением времен удерживания и максимумов поглощения компонентов экстрактов и стандартных образцов. Фенольные соединения идентифицировали с использованием стандартов (Aobious, США, содержание основного компонента $\geq 98.0\%$; Sigma-Aldrich, США, содержание основного компонента $\geq 95.0\%$). Содержание БАВ рассчитывали по площадям пиков образца и соответствующих стандартов. Анализ проводили в трех повторностях, статистические расчеты осуществляли в Microsoft Excel, 2016.

Вычисление содержания исследуемых БАВ в сухом сырье проводили по формуле:

$$C (\%) = (C_{\text{ст}} \cdot S_x \cdot V \cdot 100 \cdot 100 \cdot n) / (S_{\text{ст}} \cdot 1000 \cdot m \cdot (100 - W)),$$

где $C_{\text{ст}}$ — концентрация стандарта, мг/мл; S_x — площадь пика в исследуемом образце; V — объем экстракта, мл; n — разведение; $S_{\text{ст}}$ — площадь пика стандарта; m — масса образца, г; W — влажность, %.

Для проведения анализа макро- и микроэлементов растений и почв из мест их произрастания методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС) образцы, предварительно высушенные и гомогенизированные до однородной массы, переводили в раствор. Перевод в раствор осуществляли, используя предварительно очищенную концентрированную азотную кислоту, перекись водорода и систему микроволнового разложения Milestone Start D (200 °C, 700 Вт). После чего пробы высушивали при температуре 100—110 °C, до состояния влажных

солей, затем количественно переносили в одинаковые, полипропиленовые пробирки объемом 50 мл с помощью фоновго раствора — 15%-ной азотной кислоты со следами плавиковой кислоты. Параллельно с образцами готовили холостой опыт.

Перед анализом в каждую пробирку с образцами и холостой пробой был добавлен внутренний стандарт — раствор индия (MSIN-10PPM, Inorganic Ventures). После чего все образцы были разбавлены до одинакового объема. Анализ проводили на квадрупольном масс-спектрометре с индуктивно-связанной плазмой низкого разрешения Agilent 7500cx (Agilent Technologies, США). Конечный результат вычисляли по формуле:

$$C \left(\frac{\text{мг}}{\text{кг}} \right) = \frac{(C_0 - C_{\text{hol}}) k_{\text{dill}} k_{\text{matr}}}{1000},$$

где C_0 — содержание элемента в образце, определенное прибором, мкг/кг; C_{hol} — содержание элемента в холостом опыте, определенное прибором, мкг/кг; k_{dill} — коэффициент разбавления;

k_{matr} — коэффициент учета внутреннего стандарта, рассчитанный по методу «введено—найдено».

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Сопоставление хроматографических и спектральных характеристик позволило идентифицировать в образцах галловую кислоту, салидрозид и розавин. Салидрозид и галловая кислота выявлены при детектировании при длине волны 276 нм (рис. 1, табл. 2), тогда как розавин — при 254 нм. Содержание салидрозида в подземных органах дикорастущих особей *R. rosea* варьирует от 0.02 до 0.48% от сухой массы сырья, розавина — от 0.77 до 1.57%. Уровень галловой кислоты во всех образцах примерно одинаков — 0.1%.

Экземпляры *R. rosea*, собранные на Курайском хребте, горе Сукур и в окр. ледника Актру, по уровню розавина соответствуют требованиям Госфармакопеи ($\geq 1.0\%$), однако уровень салидрозида во всех образцах — меньше требуемого значения ($\geq 0.8\%$) [32].

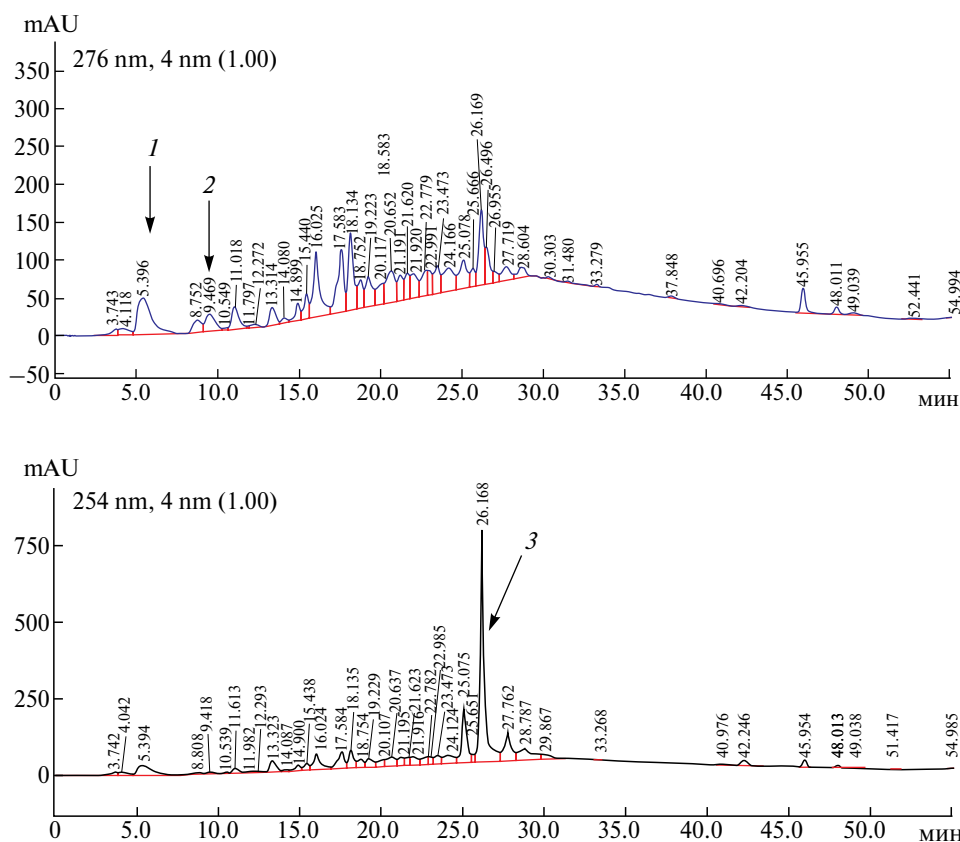


Рис. 1. ВЭЖХ этанольного экстракта подземных органов *Rhodiola rosea*, произрастающей близ Софийского ледника. 1 — галловая кислота, 2 — салидрозид, 3 — розавин. Детектируемые длины волн 254 нм для розавина и 276 нм для салидрозида и галловой кислоты.

Fig. 1. HPLC of an ethanol extract of underground organs of *Rhodiola rosea* growing near the Sofia Glacier. 1 — gallic acid, 2 — salidroside, 3 — rosavin. Detectable wavelengths are 254 nm for rosavin and 276 nm for salidroside and gallic acid.

Таблица 2. Содержание гликозидов в корневищах с корнями *Rhodiola rosea* (% на абс. сух. сырье)
Table 2. Content of glycosides in *Rhodiola rosea* rhizomes with roots (% on absolute dry weight basis)

№ образца No. sample	Содержание гликозидов Glycoside content			Высота над уровнем моря, м Elevation, m
	Галловая кислота Gallic acid	Салидрозид Salidroside	Розавин Rosavin	
Rr1	0.10 ± 0.02 ¹	0.78 ± 0.07	0.94 ± 0.13	100
Rr2	0.10 ± 0.01	0.24 ± 0.03	0.77 ± 0.08	2453
Rr3	0.11 ± 0.01	0.28 ± 0.07	1.29 ± 0.05	2728
Rr4	0.10 ± 0.03	0.02 ± 0.004	1.01 ± 0.11	2380
Rr5	0.09 ± 0.01	0.20 ± 0.02	1.57 ± 0.05	2715
Rr6	0.12 ± 0.02	0.48 ± 0.04	0.83 ± 0.07	1840

Примечание. ¹ Среднее значение ± стандартное отклонение.
 Note. ¹ The mean value ± standard deviation.

Н. А. Некратова с соавторами [25] отмечали, что содержание салидрозида повышается с увеличением высоты над уровнем моря. В нашем исследовании (табл. 2) показано, что максимальное содержание салидрозида в подземных органах (0.78%) наблюдается у интродуцированных растений из Сибирского ботанического сада ТГУ (г. Томск) (образец Rr1), произрастающих на минимальной высоте над уровнем моря — 100 м, а минимальное — в образце Rr4, собранном в долине р. Актру (Северо-Чуйский хребет) на высоте 2380 м. Отметим, что в подземных органах дикорастущих особей содержание розавина повышается с увеличением высоты над уровнем моря. Как следует из данных таблицы 2, максимальным содержанием розавина отличаются дикорастущие особи *R. rosea* с Курайского хребта (образец Rr5) и горы Сукор (образец Rr3) — 1.57 и 1.29% соответственно. Они произрастают на максимальной высоте (2715 и 2728 м над ур. м.). Минимальные показатели содержания розавина (0.77 и 0.83%) определены в образце Rr2 (долина р. Аккол, Южно-Чуйский хребет) на высоте 2453 и в образце Rr6 (окрестности Каракольских озер, хребет Иолго) на высоте 1840 м над ур. м.

Сравнительный анализ содержания вторичных метаболитов в дикорастущих особях *R. rosea* и интродуцированных в Сибирском ботаническом саду (образец Rr1) продемонстрировал большее содержание салидрозида в интродуцентах. Содержание розавина в интродуцентах было выше, чем в образцах дикорастущих особей Rr2 и Rr6, но ниже, чем в образцах Rr3, Rr4 и Rr5 (табл. 2).

Для реакций вторичного метаболизма характерна активация под влиянием разнообразных внешних и внутренних факторов, именно поэ-

тому вещества вторичного происхождения более разнообразны, чем первичные метаболиты и лучше отражают взаимоотношения растения с окружающей средой [33, 34]. Одним из факторов, контролирующим биосинтез фенольных соединений, является минеральное питание, однако механизмы его влияния на молекулярном уровне пока раскрыты не полностью. Известно, что дефицит в почве азота, фосфора, калия, серы, бора, железа [35, 36] приводит к увеличению содержания фенольных соединений в разных органах растений. Показано, что дефицит азота, фосфора активизирует экспрессию транскрипционных факторов R2R3-MYB, в т. ч. PAP1/2 [37, 38], и ряда ферментов шикиматного, фенилпропаноидного и флавоноидного биосинтеза (особенно ферментов синтеза антоцианов) [39].

Рентгенофлуоресцентный анализ корней родиолы розовой из Тере-Хольского кожууна (Республика Тыва) [40] показал, что их элементный состав включает фосфор, калий, кремний, кальций, магний, алюминий, хлор и серу. Среди макроэлементов преобладают фосфор, кремний, калий и кальций. Кроме того, в образцах родиолы розовой обнаружены: барий, железо, марганец, рубидий, бром, хром, стронций и цинк. Выявлено влияние обеспеченности растений минеральными элементами на накопление продуктов специализированных биосинтезов — гликозидов коричневого спирта и тирозола. Подкормка солями Zn, Cu, Mn, Mg и Ca стимулировала накопление розавина, но не оказывала существенного влияния на содержание салидрозида [26].

В настоящее время лишь для десятка микроэлементов известно, что они жизненно необходимы всем растениям, и еще для нескольких доказано,

что они необходимы небольшому числу видов. Для остальных элементов известно, что они оказывают стимулирующее действие на рост растений, но другие их функции пока не установлены. Характерная особенность участия этих элементов в физиологических процессах состоит в том, что, даже если многие из них необходимы для роста растений, при высоких концентрациях они могут оказывать токсичное действие на клетки [41]. Из полученных данных (табл. 3) следует, что элементный состав образцов растений родиолы розовой, произрастающих на Алтае, разнообразен. Он включает как макроэлементы — Mg, K, Fe, так и микроэлементы — Mn, Rb, Cr, Sr, Zn, Ba, Mo, Co.

Выявленные макро- и микроэлементы по современной классификации их функций и форм в организмах [41] участвуют в ключевых метаболических процессах растений. Так, Fe и Sr входят в несущий скелет; Cu, Co, Fe связываются с разнообразными мелкими молекулами (антибиотики и др.); Mo, Mn, Cu, Co, Cr, Fe связываются с высокомолекулярными соединениями (протеинами, ферментами), Cu, Fe, Mn, Mo связаны с органеллами. Они участвуют в важных физиологических процессах — симбиотической фиксации азота, стимулировании окислительно-восстановительных реакций при синтезе хлорофилла и протеинов (Co); окислении, фотосинтезе, метаболизме протеинов и углеводов (Cu, Fe); фотопродукции кислорода в хлоропластах (Mn); фиксации N_2 , восстановлении NO_3^- , окислительно-восстановительных реакциях (Mo); метаболизме углеводов и белков (Zn).

Концентрации макро- и микроэлементов в корневищах с корнями родиолы розовой из разных географических зон различаются. В образцах родиолы уровень содержания Mg варьирует в интервале 570—1700 мг/кг; Mn — от 13—59 мг/кг; Zn — 0,72—14 мг/кг; Cu — от 2 до 8 мг/кг и, в основном, не превышает примерные концентрации в других видах растений, тогда как содержание Fe и Ti выше их средних значений [41].

Содержание Fe в исследованных подземных органах родиолы розовой выше, чем в образце, собранном в Ленинградской области [27]. Вопросу о поглощении Ti растениями уделялось мало внимания. Считается, что этот элемент относительно мало пригоден для растений и плохо переносится ими. Содержание Ti в поверхностном слое почв в целом составляет от 0.1% до 0.9% (среднее 0.35%). Описана его возможная каталитическая функция при фиксации азота симбиотическими микроор-

ганизмами, при фотоокислении соединений азота у высших растений, а также в некоторых процессах фотосинтеза [41]. Примерная концентрация Ti в зрелых тканях листьев растений, составляющая 50—200 мг/кг сухой массы считается токсичной [41]. Содержание Ti в исследованных образцах подземных органов родиолы розовой составило от 3 до 99 мг/кг.

Кроме того, в исследованных образцах *R. rosea* обнаружены редко выявляемые элементы — Ga (галлий), Nb (ниобий), лантаноиды — La (лантан), Ho (гольмий), Gd (гадолиний) и др. Лантаниды токсичны для клеток, однако данных об их тормозящем действии на развитие растений немного [41]. Содержание La в изученных образцах родиолы розовой составило от 0.14 до 1.9 мг/кг.

Результаты анализа элементного профиля пяти образцов корневищ с корнями родиолы розовой, представленные в таблице 3, позволяют сделать вывод, что образец Rr4 (долина р. Актру, Северо-Чуйский хребет) выделяется меньшим содержанием микроэлементов по сравнению с другими исследованными образцами. Наибольшим содержанием магния, хрома, железа отличаются корневища с корнями родиолы розовой, произрастающей в Сибирском ботаническом саду Томского государственного университета (образец Rr1) и в окр. Софийского ледника на Южно-Чуйском хребте (образец Rr2). Наиболее высоким содержанием марганца отличаются образцы Rr1 и Rr5 (Курайский хребет); цинка — образец Rr2 и Rr3 (г. Сукор); меди — образец Rr2, титана — образец Rr1.

Показано, что подземные органы исследованных растений родиолы розовой алтайского происхождения значительно богаче, как по составу, так и по содержанию большинства элементов, чем подземные органы растений, собранных в Ленинградской области [27]. Так, по уровню содержания таких важных для организма человека элементов как Mg, Fe, Cu, Zn изученные растения превосходят растения из Ленинградской области в 2.5; 7.4; 3.4; 2 раза соответственно (табл. 3). Известным фактом является важность для здоровья человека присутствия железа, которое необходимо для нормального газообмена и функционирования многих ферментов, магния, снижающего риск развития воспалительных заболеваний органов малого таза, меди, которая является компонентом ряда ферментов и важных белков [27]. Симптомы дефицита меди включают нейтропению, анемию,

Таблица 3. Содержание макро- и микроэлементов в образцах подземных органов *Rhodiola rosea* и в почве
Table 3. Content of macro- and microelements in samples of underground organs of *Rhodiola rosea* and in soil

Химический элемент Element	№ образца ¹ No. Sample ¹	Содержание химических элементов, мг/кг Element content, mg/kg		
		В корневищах с корнями In rhizomes with roots	В почве In the soil	Образец подземных органов из Ленинградской области* Sample of underground organs from the Leningrad region*
Mg	Rr1	1 700 ± 300 ²	4600 ± 800	711.0
	Rr2	1 700 ± 300	26 000 ± 5 000	
	Rr3	830 ± 140	18 000 ± 3 000	
	Rr4	570 ± 100	18 000 ± 3 000	
	Rr5	910 ± 150	18 000 ± 3 000	
Cr	Rr1	3 ± 1	32 ± 7	—
	Rr2	4 ± 1	131 ± 28	
	Rr3	0.7 ± 0.2	270 ± 60	
	Rr4	0.7 ± 0.2	62 ± 13	
	Rr5	2.4 ± 0.8	90 ± 19	
Mn	Rr1	59 ± 12	540 ± 90	17.7
	Rr2	40 ± 8	1 000 ± 170	
	Rr3	13 ± 3	1 600 ± 300	
	Rr4	25 ± 5	1 200 ± 200	
	Rr5	57 ± 12	1 700 ± 300	
Zn	Rr1	0.7 ± 0.2	20 ± 4	6.3
	Rr2	14 ± 3	75 ± 16	
	Rr3	10 ± 2	73 ± 15	
	Rr4	6 ± 2	52 ± 11	
	Rr5	10 ± 3	66 ± 14	
Cu	Rr1	6 ± 2	16 ± 3	2.4
	Rr2	8 ± 3	130 ± 30	
	Rr3	2.0 ± 0.7	40 ± 8	
	Rr4	2.4 ± 0.8	38 ± 8	
	Rr5	7 ± 2	95 ± 20	
Ti	Rr1	99 ± 21	1 100 ± 190	—
	Rr2	68 ± 14	2 100 ± 400	
	Rr3	4 ± 1	720 ± 120	
	Rr4	11 ± 2	2 100 ± 400	
	Rr5	30 ± 6	1 600 ± 300	
Fe	Rr1	1 100 ± 180	16 000 ± 3 000	164
	Rr2	1 200 ± 210	41 000 ± 7 000	
	Rr3	160 ± 30	>50 000	
	Rr4	310 ± 60	49 000 ± 8 000	
	Rr5	720 ± 120	39 000 ± 7 000	
K	Rr1	8 800 ± 1 500	8 800 ± 1 500	—
	Rr2	7 600 ± 1 300	>10 000	
	Rr3	4 400 ± 800	>10 000	
	Rr4	5 000 ± 900	11 000 ± 1 900	
	Rr5	6 300 ± 1 100	>10 000	
Rb	Rr1	6 ± 2	46 ± 10	—
	Rr2	6 ± 2	113 ± 24	
	Rr3	1.7 ± 0.5	51 ± 11	
	Rr4	4 ± 1	49 ± 10	
	Rr5	18 ± 3	97 ± 20	
Sr	Rr1	46 ± 10	120 ± 21	—
	Rr2	27 ± 6	130 ± 30	
	Rr3	31 ± 6	150 ± 30	
	Rr4	19 ± 4	48 ± 10	
	Rr5	13 ± 3	140 ± 30	

Таблица 3. Окончание

Химический элемент Element	№ образца ¹ No. Sample ¹	Содержание химических элементов, мг/кг Element content, mg/kg		
		В корневищах с корнями In rhizomes with roots	В почве In the soil	Образец подземных органов из Ленинградской области* Sample of underground organs from the Leningrad region*
Ba	Rr1	85 ± 18	340 ± 70	—
	Rr2	56 ± 12	330 ± 70	
	Rr3	15 ± 3	340 ± 70	
	Rr4	27 ± 6	250 ± 50	
	Rr5	33 ± 7	320 ± 70	
Mo	Rr1	0.06 ± 0.02	0.018 ± 0.007	—
	Rr2	0.03 ± 0.01	0.020 ± 0.008	
	Rr3	0.03 ± 0.01	0.04 ± 0.02	
	Rr4	0.07 ± 0.03	0.07 ± 0.03	
	Rr5	0.021 ± 0.008	0.04 ± 0.02	
Co	Rr1	0.7 ± 0.2	10 ± 3	—
	Rr2	0.8 ± 0.2	24 ± 5	
	Rr3	0.22 ± 0.07	37 ± 8	
	Rr4	0.29 ± 0.09	25 ± 5	
	Rr5	0.5 ± 0.2	22 ± 5	
Ga	Rr1	0.4 ± 0.1	6 ± 2	—
	Rr2	0.3 ± 0.1	12 ± 3	
	Rr3	0.03 ± 0.01	13 ± 3	
	Rr4	0.07 ± 0.03	10 ± 3	
	Rr5	0.20 ± 0.06	10 ± 3	
Nb	Rr1	0.23 ± 0.07	2.9 ± 0.9	—
	Rr2	0.18 ± 0.06	3 ± 1	
	Rr3	0.011 ± 0.004	1.2 ± 0.4	
	Rr4	<0.001	2.0 ± 0.7	
	Rr5	0.05 ± 0.02	2.0 ± 0.6	
La	Rr1	1.9 ± 0.6	32 ± 7	—
	Rr2	1.8 ± 0.6	29 ± 6	
	Rr3	0.14 ± 0.04	35 ± 7	
	Rr4	0.25 ± 0.08	27 ± 6	
	Rr5	0.6 ± 0.2	25 ± 5	
Ho	Rr1	0.04 ± 0.02	0.5 ± 0.2	—
	Rr2	0.019 ± 0.007	0.5 ± 0.2	
	Rr3	0.005 ± 0.002	1.2 ± 0.4	
	Rr4	0.008 ± 0.003	1.0 ± 0.3	
	Rr5	0.019 ± 0.007	0.9 ± 0.3	
Gd	Rr1	0.25 ± 0.08	4 ± 1	—
	Rr2	0.17 ± 0.05	5 ± 2	
	Rr3	0.03 ± 0.01	8 ± 3	
	Rr4	0.05 ± 0.02	7 ± 2	
	Rr5	0.12 ± 0.04	6 ± 2	

Примечание. ¹ Места сбора образцов представлены в табл. 1.

* — Результаты элементного анализа образца из Ленинградской обл. [27].

² Среднее значение ± границы абсолютной погрешности измерений для доверительной вероятности $P = 0.95$. Прочерк означает отсутствие данных.

Note. ¹ Sample collection locations are given in Table. 1.

* — Results of elemental analysis of a sample from the Leningrad region [27].

² Average value ± limits of absolute measurement error for confidence probability $P = 0.95$. A dash means no data.

остеопороз, неврологические симптомы. Цинк также необходим для роста и репродукции. Таким образом, изученные образцы родиолы розовой алтайского происхождения являются ценными источниками биологически активных веществ и элементов.

По уровню содержания элементов в корневищах с корнями и в почве исследованные образцы *R. rosea* из разных мест произрастания можно разделить на 3 группы (табл. 3). Первая группа характеризуется низким по сравнению с другими образцами уровнем элементов в растительном сырье при высоком уровне содержания в почве. Например, по содержанию Mg, Cr, Mn и Fe к этой группе можно отнести образец Rr3 (г. Сукор) и по содержанию Mg, Cr, Mn, Fe, Zn и Ti — образец Rr4 (окр. ледника Актру). При этом особи образцов Rr3 и Rr4 отличаются низким уровнем Cu, Ti как в корневищах с корнями, так и в почве, на которой они произрастают.

Вторую группу представляет образец Rr1 (СибБС ТГУ). Для него характерно высокое по сравнению с другими образцами содержание практически всех элементов (за исключением Zn) в корневищах с корнями и низкое в почве.

К третьей группе относятся образцы *R. rosea*, которым свойственно высокое содержание элементов в корневищах с корнями при высоком содержании их в почве. Это образец Rr2 из окрестностей Софийского ледника (исключение составляет Ti), и образец Rr5, из окрестностей с. Курай на Курайском хребте (исключение составляют Ti и Mg).

Е. А. Краснов с соавторами [42] обращал внимание на повышенное содержание Ti в родиоле розовой. В исследованных нами образцах отмечена та же тенденция: в подземных органах растений содержание Ti варьирует от 3 до 99 мг/кг и все образцы почв также характеризуются высоким содержанием этого элемента — от 720 до 2100 мг/кг. Наибольшее количество Ti в почве наблюдается в местах отбора образцов Rr4 (долина р. Актру) и Rr2 (долина р. Аккол, Софийский ледник). Наибольшее содержание Ti в подземных органах родиолы розовой отмечено в образце Rr1 (СибБС ТГУ). При этом содержание этого элемента в почве ботанического сада является в два раза более низким, чем в почве с места отбора образца Rr4.

Максимальное содержание салидрозидов определено в подземных органах исследованного вида в Сибирском ботаническом саду ТГУ (образец Rr1) — 0.78%, при этом отмечается и высокое со-

держание розавина — 0.94%. Почва экспериментального участка СибБС ТГУ, на котором растет родиола розовая, характеризуется невысоким содержанием большинства изученных элементов, но уровень содержания Mg и Fe в растительном сырье интродукта превышает содержание этих элементов в образцах Rr3, Rr4 и Rr5 в 2—6 раз.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Показано, что подземные органы родиолы розовой *Rhodiola rosea* (Crassulaceae), произрастающей на Алтае, по содержанию розавина соответствуют требованиям Госфармакопеи. Максимальное содержание розавина обнаружено в корневищах с корнями родиолы розовой, произрастающей на г. Сукор (образец Rr3) и на Курайском хребте (образец Rr5) на большой высоте (2728 и 2715 м) над уровнем моря — соответственно 1.29 и 1.57%.

Высоким содержанием салидрозидов и розавина в подземных органах отличаются растения родиолы розовой из окрестностей ледника Актру (образец Rr4), а также интродуцированные в условиях низменности в Сибирском ботаническом саду Томского государственного университета (образец Rr1).

Сравнение содержания химических элементов в подземных органах *R. rosea* и в почве, на которой они произрастают, показало, что интродуцированным особям (образец Rr1) свойственно высокое содержание практически всех элементов в растительном сырье при низком содержании в почве (за исключением Zn). Низкий уровень Mg, Cr, Mn и Fe в корневищах с корнями при высоком содержании в почве отличает образцы Rr3 (г. Сукор) и Rr4 (окр. ледника Актру). Подземные органы растений родиолы розовой, произрастающих в окрестностях Софийского ледника на Южно-Чуйском хребте (образец Rr2) и на Курайском хребте (образец Rr5) характеризуются высоким содержанием элементов при высоком содержании в почве.

Пока не представляется возможным однозначно вычленить действие какого-либо элемента на синтез салидрозидов и розавина. Это возможно было бы осуществить в стационарных условиях при контролируемом внесении дополнительных количеств элементов. Однако можно отметить, что такие элементы как Mg, Cr, Mn, Cu, Zn, Ti и Fe присутствуют во всех образцах родиолы розовой, произрастающих в Республике Алтай и культивируемых в Сибирском ботаническом саду Томского

государственного университета. Вероятно, они являются необходимыми при синтезе фенилпропаноидов.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование условий произрастания, сбор растительного и почвенного материала проведены в рамках выполнения государственного задания

Минобрнауки России, проект № FSWM-2020-0019.

Исследование содержания фенольных соединений методом ВЭЖХ и обсуждение взаимосвязи элементного состава и уровней биологически активных веществ проведены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России, проект № FSWM-2024-0009.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Красная книга Российской Федерации: растения и грибы. 2008. М. 855 с.
<http://oort.aari.ru/ref/38>
2. Ревякина Н. В. 1973. К изучению биологических особенностей и запасов золотого корня и маральего корня в Центральном Алтае. — Известия СО АН СССР. Серия биол. наук. 10(2): 58—63.
3. Нухимовский Е. Л. 1997. Основы биоморфологии семенных растений: Т. 1. Теория организации биоморф. М. 630 с.
4. Ким Е. Ф. 1999. Родиола розовая (золотой корень) и биологические основы введения ее в культуру. Барнаул. 176 с.
5. Некратова Н. А., Некратов Н. Ф. 2005. Лекарственные растения Алтае-Саянской горной области. Ресурсы, экология, ценокомплексы, популяционная биология, рациональное использование. Томск. 228 с.
6. Головкин Т. К., Далькэ И. В., Бачаров Д. С., Бабак Т. В. 2007. Толстянковые в холодном климате (биология, экология, физиология). СПб. 205 с.
7. Фролов Ю. М., Полетаева И. И. 1998. Родиола розовая на европейском Северо-Востоке. Екатеринбург. 192 с.
8. Свиридова Т. П. 1978. К изучению биологических особенностей золотого корня при введении его в культуру. — Бюллетень СибБС. 11: 50—54.
9. Паутова И. А. 1993. Онтогенез и возможность интродукции в Санкт-Петербург видов *Rhodiola rosea* L., перспективных для использования в пищевой и фармацевтической промышленности: автореф. дис. ... канд. биол. наук. СПб. 23 с.
10. Кудрявцева О. В., Виравцева Л. Л. 2006. Итоги интродукции некоторых видов рода *Rhodiola* (Crassulaceae) в Полярно-альпийском ботаническом саду (Кольский полуостров). — Раст. ресурсы. 42(4): 28—34.
<https://elibrary.ru/item.asp?id=9309963>
11. Вечер Н. Н. 1999. Золотой корень — *Rhodiola rosea* L. при интродукции в условиях Беларуси. — В сб.: Пряно-ароматические и лекарственные растения: перспективы интродукции и использования: матер. докл. междунар. конф. Минск. С. 17—18.
12. Galambosi B. 2006. Demand and availability of *Rhodiola rosea* L. raw material. — In: Medicinal and aromatic plants: agricultural, commercial, ecological, legal, pharmacological and social aspects. Frontis 17: 223—236.
<https://library.wur.nl/ojs/index.php/frontis/article/view/1235>
13. Platikanov S., Evstatieva L. 2008. Introduction of Wild Golden Root (*Rhodiola rosea* L.) as a potential economic crop in Bulgaria. — Economic Botany. 62(4): 621—627.
<https://doi.org/10.1023/B: BEBM.0000046940.45382.53>
14. Интродукция растений природной флоры Сибири. 2017. Новосибирск. 495 с.
15. Ишмуратова М. М. 2006. Родиола ирмельская на Южном Урале. М. 252 с.
16. Плющёва Е. С., Бычкова О. В. 2017. Введение в культуру *in vitro* родиолы холодной (*Rhodiola algida* L.). — В сб.: Ломоносовские чтения на Алтае: фундаментальные проблемы науки и образования: избранные труды международной конференции. Барнаул. 2. С. 95—98.
17. Степанова А. Ю., Гладков Е. А., Соловьева А. И. 2018. Применение и биотехнологический способ получения сырья лекарственного растения — родиолы четырехраздельной. — Вестник биотехнологии и физико-химической биологии имени Ю. А. Овчинникова. 14(4): 66—70.
https://biorosinfo.ru/upload/file/vol_14_4_2018.pdf
18. Эрст А. А., Якубов В. В. 2019. Регенерационная способность представителей редкого вида *Rhodiola rosea* L. из различных местообитаний в культуре *in vitro*. — Сибирский экологический журнал. 26(4): 455—465.
<https://elibrary.ru/item.asp?id=39113106>

19. Саратиков А. С., Краснов Е. А. 2004. Родиола розовая (золотой корень). Томск. 292 с.
20. Куркин В. А. 2015. Родиола розовая (золотой корень): стандартизация и создание лекарственных препаратов. Самара. 240 с.
21. Ревина Т. А., Краснов Е. А. 1975. Биологические особенности и химический состав родиолы перистонадрезной в условиях культуры. — Раст. ресурсы. 11(1): 119—123.
22. Ma C., Hu L., Fu Q., Gu X., Tao G., Wang H. 2013. Separation of four flavonoids from *Rhodiola rosea* by on-line combination of sample preparation and counter-current chromatography. — J. Chromatogr. A. 1306: 12—19. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2013.07.052>
23. Андреева Т. И., Рудько Н. Г., Тимофеева Н. М. 1983. К исследованию влияния различных факторов на накопление салидрозида в родиоле розовой. — В кн.: Молодые ученые и специалисты народному хозяйству. Томск. С. 3—4.
24. Краснов Е. А., Деева А. И. 1978. К вопросу расширения сырьевой базы в производстве экстракта родиолы розовой. — В сб.: Изучение препаратов растительного и синтетического происхождения: тез. докл. межобл. конф. Ч. 2. Томск. С. 72—73.
25. Некратова Н. А., Краснов Е. А., Некратов Н. Ф., Михайлова С. И. 1992. Изменение количественного содержания салидрозида и дубильных веществ в подземных органах *Rhodiola rosea* L. в естественных местообитаниях на Алтае. — Раст. ресурсы. 28(4): 40—48. <https://elibrary.ru/item.asp?id=21721323>
26. Захожий И. Г. 2006. Физиолого-биохимические основы накопления продуктов вторичного метаболизма — салидрозида и розавина в растениях *Rhodiola rosea* L.: автореф. дис. ... канд. биол. наук. СПб. 20 с.
27. Тернинко И. И., Лёзина А. В., Генералова Ю. Э., Романова М. А. 2022. Анализ элементного состава отдельных видов *Sedum (Rhodiola) spp.* и *Orthilia secunda*. — Разработка и регистрация лекарственных средств. 11(1): 132—139. <https://doi.org/10.33380/2305-2066-2022-11-1-132-139>
28. Безделев А. Б., Безделева Т. А. 2006. Жизненные формы семенных растений российского Дальнего Востока. Владивосток. 296 с.
29. Гончарова С. Б. 2006. Очитковые (Sedoideae, Crassulaceae) флоры российского Дальнего Востока. Владивосток. 223 с.
30. Положий А. В., Ревякина Н. В., Ким Е. Ф., Свиридова Т. П. 1985. Родиола розовая, золотой корень — *Rhodiola rosea* L. — В кн.: Биология растений Сибири, нуждающихся в охране. Новосибирск. С. 85—114.
31. Суров Ю. П. 1973. Запасы *Rhodiola rosea* в горах Алтая и Западных Саян. — В кн.: Успехи изучения лекарственных растений Сибири. Томск. С. 8—10.
32. Государственная фармакопея РФ XIV изд. ФС.3.4.0008.18 Родиолы розовой корневищ и корней экстракт жидкий *Rhodiola roseae rhizomatum et radicum extractum liquidum*. 2018. Т. IV. М. С. 6724—6729. <https://pharmacopoeia.regmed.ru/pharmacopoeia/izdanie-14/3/3-4/rodioly-rozovoy-kornevishch-i-korney-ekstrakt-zhidkiy-rhodiola-roseae-rhizomatum-et-radicum-extract/>
33. Shilpa K., Varun K., Lakshmi B. S. 2010. An alternate method of natural drug production: eliciting secondary metabolite production using plant cell culture. — J. Plant Sci. 5(3): 222—247. <https://doi.org/10.3923/jps.2010.222.247>
34. Yang D., Huang Z., Jin W., Xia P., Jia Q., Yang Z., Hou Z., Zhang H., Ji W., Han R. 2018. DNA methylation: a new regulator of phenolic acids biosynthesis in *Salvia miltiorrhiza*. — Ind. Crop. Prod. 124: 402—411. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.07.046>
35. Parr A. J., Bolwell G. P. 2000. Phenols in the plant and in man. The potential for possible nutritional enhancement of the diet by the modifying the phenols content or profile. — J. Sci. Food Agric. 80(7): 985—1012. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0010\(20000515\)80:7<985::AID-JSFA572>3.0.CO;2-7](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0010(20000515)80:7<985::AID-JSFA572>3.0.CO;2-7)
36. Abeynayake S. W., Panter S., Chapman R., Webster T., Rochfort S., Mouradov A., Spangenberg G. 2012. Biosynthesis of proanthocyanidins in white clover flowers: cross talk within the flavonoid pathway. — Plant Physiol. 158(2): 666—678. <https://doi.org/10.1104/pp.111.189258>
37. Scheible W.-R., Morcuende R., Czechowski T., Fritz C., Osuna D., Palacios-Rojas N., Schindelasch D., Thimm O., Udvardi M. K., Stitt M. 2004. Genome-wide reprogramming of primary and secondary metabolism, protein synthesis, cellular growth processes, and the regulatory infrastructure of Arabidopsis in response to nitrogen. — Plant Physiol. 136(1): 2483—2499. <https://doi.org/10.1104/pp.104.047019>

38. Xu W., Dubos C., Lepiniec L. 2015. Transcriptional control of flavonoid biosynthesis by MYB-bHLH-WDR complexes. — Trends Plant Sci. 20(3): 176—185.
<https://doi.org/10.1016/j.tplants.2014.12.001>
39. Lillo C., Lea U.S., Ruoff P. 2008. Nutrient depletion as a key factor for manipulating gene expression and product formation in different branches of the flavonoid pathway. — Plant Cell Environ. 31(5): 587—601.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2007.01748.x>
40. Оюн С. М., Ооржак У. С. 2015. Родиола розовая в тувинской традиционной медицине. — В сб.: Актуальные проблемы исследования этноэкологических и этнокультурных традиций народов Саяно-Алтая: матер. III междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых, аспирантов и студентов. Кызыл. С. 240—242.
41. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. 1989. Микроэлементы в почвах и растениях: Пер. с англ. М. 439 с.
42. Краснов Е. А., Саратиков А. С., Суров Ю. П. 1979. Растения семейства толстянковых. Томск. 208 с.

Phenolic Compounds and Elemental Composition of *Rhodiola Rosea* (Crassulaceae) Plants Growing in the Altai Mountains

© 2024. L. N. Zibareva, *A. S. Prokopyev, E. S. Rabtsevich

National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia

*e-mail: zibareva.lara@yandex.ru

Abstract — The article presents a comparative analysis of phenolic compounds in the underground parts (rhizomes with adventitious roots) of *Rhodiola rosea* L. (Crassulaceae) plants from natural coenopopulations of the Altai Mountains and cultivated in the Siberian Botanical Garden of TSU (Tomsk). Gallic acid, salidroside and rosavin were identified in the studied samples. The content of salidroside in samples of wild *R. rosea* varies from 0.02 to 0.48%, and rosavin — 0.77—1.57% of absolute dry weight. The content of gallic acid in all samples is approximately the same — 0.1%. The analysis has shown a higher salidroside content in the underground organs of cultivated *R. rosea* plants compared to plants from natural populations with a similar rosavin content. It has been established that the elemental composition of the underground parts of *R. rosea* plants growing in the Altai Mountains is very rich and diverse. In addition to such macro- and microelements as Mg, K, Fe, Mn, Rb, Cr, Sr, Zn, Ba, Mo, Co, rarely detected Ti, Ga, Nb, La, Ho, Gd, and others were found. Based on the content of chemical elements in underground plant organs and soil, the studied samples of *R. rosea* of different origin were divided into 3 groups. The first group is characterized by a low element content in plants and a high content in soil. The second group is distinguished by a high content of elements in the underground plant parts and low content in soil. The third group is characterized by a high element content both in the underground plant parts and in soil.

Keywords: *Rhodiola rosea*, phenolic compounds, elemental composition, underground organs, soil, Altai Mountains

ACKNOWLEDGMENTS

The study of growing conditions and the collection of plant and soil material was carried out within the framework of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (project No. FSWM-2020-0019).

The HPLC study of phenolic compounds content and discussion of the relationship between the elemental composition and levels of biologically active substances was carried out within the framework of the project part of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (project No. FSWM-2024-0009).

REFERENCES

1. [Red Book of the Russian Federation: plants and fungi]. 2008. Moscow. 855 p.
<http://oopt.aari.ru/ref/38> (In Russian)
2. Revyakina N. V. 1973. [To the study of biological characteristics and reserves of *Rhodiola rosea* and *Rhaponticum carthamoides* in the Central Altai]. — Bulletin of Siberian Branch of Academy of Sciences of the USSR. Series of biol. sciences 10(2): 58—63. (In Russian)

3. *Nukhimovsky E. L.* 1997. [Fundamentals of biomorphology of seed plants: Vol. 1. Theory of biomorph organization]. Moscow. 630 p. (In Russian)
4. *Kim E. F.* 1999. [*Rhodiola rosea* (golden root) and the biological basis for its introduction into culture]. Barnaul. 176 p. (In Russian)
5. *Nekratova N. A., Nekratov N. F.* 2005. [Medicinal plants of the Altai-Sayan mountain region. Resources, ecology, cenocomplexes, population biology, rational use]. Tomsk. 228 p. (In Russian)
6. *Golovko T. K., Dalke I. V., Bacharov D. S., Babak T. V.* 2007. [Crassulaceae in cold climates (biology, ecology, physiology)]. St. Petersburg. 205 p. (In Russian)
7. *Frolov Yu. M., Poletaeva I. I.* 1998. [*Rhodiola rosea* in the European Northeast]. Ekaterinburg. 192 p. (In Russian)
8. *Sviridova T. P.* 1978. To the study of the biological characteristics of the golden root when introduced into culture. — *Byulleten SibBG*. 11: 50—54. (In Russian)
9. *Pautova I. A.* 1993. [Ontogenesis and the possibility of introduction to St. Petersburg of *Rhodiola rosea* L., promising species for use in the food and pharmaceutical industries: Abstr. ... Dis. Cand. (Biology) Sci.]. St.-Petersburg. 23 p. (In Russian)
10. *Kudryavtseva O. V., Viracheva L. L.* 2006. Results of the genus *Rhodiola* (Crassulaceae) species introduction in Polar-Alpine Botanical Garden (Kola Peninsula). — *Rastitelnye resursy*. 42(4): 28—34. <https://elibrary.ru/item.asp?id=9309963> (In Russian)
11. *Vecher N. N.* 1999. [Golden root — *Rhodiola rosea* L. when introduced in Belarus]. — In: [Spicy, aromatic and medicinal plants: prospects for introduction and use: Proceedings of the International conference]. Minsk. P. 17—18. (In Russian)
12. *Galambosi B.* 2006. Demand and availability of *Rhodiola rosea* L. raw material. — In: Medicinal and aromatic plants: agricultural, commercial, ecological, legal, pharmacological and social aspects. — *Frontis* 17: 223—236. <https://library.wur.nl/ojs/index.php/frontis/article/view/1235>
13. *Platikanov S., Evstatieva L.* 2008. Introduction of Wild Golden Root (*Rhodiola rosea* L.) as a potential economic crop in Bulgaria. — *Economic Botany*. 62(4): 621—627. <https://doi.org/10.1023/B: BEBM.0000046940.45382.53>
14. [Introduction of plants of the natural flora of Siberia]. 2017. Novosibirsk. 495 p. (In Russian)
15. *Ishmuratova M. M.* 2006. [*Rhodiola iremelica* in the Southern Urals]. Moscow. 252 p. (In Russian)
16. *Plyushchyova E. S., Bychkova O. V.* 2017. [In vitro culture introduction of *Rhodiola algida* L.]. — In: [Lomonosov readings in Altai: fundamental problems of science and education: Selected proceedings of the international conference]. Barnaul. 2. P. 95—98. (In Russian)
17. *Stepanova A. Yu., Gladkov E. A., Solovyeva A. I.* 2018. Application and biotechnological method of obtaining raw materials of medicinal plants — *Rhodiola quadrifida*. — *Yu. A. Ovchinnikov bulletin of biotechnology and physical and chemical biology*. 14(4): 66—70. https://biorosinfo.ru/upload/file/vol_14_4_2018.pdf (In Russian)
18. *Erst A. A., Yakubov V. V.* 2019. The regenerative capacity *in vitro* of a rare species of *Rhodiola rosea* L. from various habitats. — *Contemp. Probl. Ecol.* 12(4): 368—376. <https://doi.org/10.1134/S1995425519040036>
19. *Saratikov A. S., Krasnov E. A.* 2004. [*Rhodiola rosea* (golden root)]. Tomsk. 292 p. (In Russian)
20. *Kurkin V. A.* 2015. [*Rhodiola rosea* (golden root): standardization and creation of medicinal products]. Samara. 240 p. (In Russian)
21. *Revina T. A., Krasnov E. A.* 1975. [Biological features and chemical composition of *Rhodiola pinnatifida* under cultural conditions]. — *Rastitelnye resursy*. 11(1): 119—123. (In Russian)
22. *Ma C., Hu L., Fu Q., Gu X., Tao G., Wang H.* 2013. Separation of four flavonoids from *Rhodiola rosea* by on-line combination of sample preparation and counter-current chromatography. — *J. Chromatogr. A*. 1306: 12—19. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2013.07.052>
23. *Andreeva T. I., Rudko N. G., Timofeeva N. M.* 1983. [To the study of the influence of various factors on the accumulation of salidroside in *Rhodiola rosea*]. — In: [Young scientists and specialists — to national economy]. Tomsk. P. 3—4. (In Russian)
24. *Krasnov E. A., Deeva A. I.* 1978. [On the issue of expanding the raw material base in the production of *Rhodiola rosea* extract]. — In: [Study of drugs of plant and synthetic origin: Abstracts of the Interregional conference]. Part 2. Tomsk. P. 72—73. (In Russian)

25. Nekratova N.A., Krasnov E.A., Nekratov N.F., Mikhailova S.I. 1992. [Changes in the quantitative content of salidroside and tannins in the underground organs of *Rhodiola rosea* L. in natural habitats in Altai]. — *Rastitelnye resursy*. 28(4): 40–48.
<https://elibrary.ru/item.asp?id=21721323> (In Russian)
26. Zakhozhiy I.G. 2006. [Physiological and biochemical basis for the accumulation of secondary metabolic products — salidroside and rosavin in *Rhodiola rosea* L. plants.: Abstr. ... Dis. Cand. (Biology) Sci.]. St. Petersburg. 20 p. (In Russian)
27. Terninko I.I., Lyozina A.V., Generalova Yu.E., Romanova M.A. 2022. Analysis of the elemental composition of individual species of *Sedum* (*Rhodiola*) spp. and *Orthilia secunda*. — *Drug development and registration*. 11(1): 132–139.
<https://doi.org/10.33380/2305-2066-2022-11-1-132-139> (In Russian)
28. Bezdelev A.B., Bezdeleva T.A. 2006. [Life forms of seed plants of the Russian Far East]. Vladivostok. 296 p. (In Russian)
29. Goncharova S.B. 2006. Sedoideae (Crassulaceae) in the Russian Far East flora. Vladivostok. 223 p. (In Russian)
30. Polozhiy A.V., Revyakina N.V., Kim E.F., Sviridova T.P. 1985. [Golden root — *Rhodiola rosea* L.]. — In: [Biology of Siberian plants in need of protection]. Novosibirsk. P. 85–114. (In Russian)
31. Surov Yu. P. 1973. [Reserves of *Rhodiola rosea* in the Altai and Western Sayan Mountains]. — In: [Progress in the study of medicinal plants in Siberia]. Tomsk. P. 8–10. (In Russian)
32. *State Pharmacopoeia of the Russian Federation*. XIV. FS.3.4.0008.18 *Rhodiola rosea* rhizomatum et radicis extractum liquidum. 2018. Vol. IV. Moscow. P. 6724–6729.
<https://pharmacopoeia.regmed.ru/pharmacopoeia/izdanie-14/3/3-4/rodioly-rozovoy-kornevishch-i-korney-ekstrakt-zhidkiy-rhodiola-roseae-rhizomatum-et-radicis-extract/>
33. Shilpa K., Varun K., Lakshmi B.S. 2010. An alternate method of natural drug production: eliciting secondary metabolite production using plant cell culture. — *J. Plant Sci*. 5(3): 222–247.
<https://doi.org/10.3923/jps.2010.222.247>
34. Yang D., Huang Z., Jin W., Xia P., Jia Q., Yang Z., Hou Z., Zhang H., Ji W., Han R. 2018. DNA methylation: a new regulator of phenolic acids biosynthesis in *Salvia miltiorrhiza*. — *Ind. Crop. Prod*. 124: 402–411.
<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.07.046>
35. Parr A.J., Bolwell G.P. 2000. Phenols in the plant and in man. The potential for possible nutritional enhancement of the diet by the modifying the phenols content or profile. — *J. Sci. Food Agric*. 80(7): 985–1012.
[https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0010\(20000515\)80:7<985::AID-JSFA572>3.0.CO;2-7](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0010(20000515)80:7<985::AID-JSFA572>3.0.CO;2-7)
36. Abeynayake S.W., Panter S., Chapman R., Webster T., Rochfort S., Mouradov A., Spangenberg G. 2012. Biosynthesis of proanthocyanidins in white clover flowers: cross talk within the flavonoid pathway. — *Plant Physiol*. 158(2): 666–678.
<https://doi.org/10.1104/pp.111.189258>
37. Scheible W.-R., Morcuende R., Czechowski T., Fritz C., Osuna D., Palacios-Rojas N., Schindelasch D., Thimm O., Urdavari M.K., Stitt M. 2004. Genome-wide reprogramming of primary and secondary metabolism, protein synthesis, cellular growth processes, and the regulatory infrastructure of *Arabidopsis* in response to nitrogen. — *Plant Physiol*. 136(1): 2483–2499.
<https://doi.org/10.1104/pp.104.047019>
38. Xu W., Dubos C., Lepiniec L. 2015. Transcriptional control of flavonoid biosynthesis by MYB-bHLH-WDR complexes. — *Trends Plant Sci*. 20(3): 176–185.
<https://doi.org/10.1016/j.tplants.2014.12.001>
39. Lillo C., Lea U.S., Ruoff P. 2008. Nutrient depletion as a key factor for manipulating gene expression and product formation in different branches of the flavonoid pathway. — *Plant Cell Environ*. 31(5): 587–601.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2007.01748.x>
40. Oyun S.M., Oorzhak U.S. 2015. [*Rhodiola rosea* in Tuvan traditional medicine]. — In: [Current problems in the study of ethnoecological and ethnocultural traditions of the peoples of Sayan-Altai: Materials of the III International scientific and practical conference of young scientists, postgraduates and students]. Kyzyl. P. 240–242. (In Russian)
41. Kabata-Pendias A., Pendias H. 1989. Trace elements in soils and plants. Transl. from English. Moscow. 439 p. (In Russian)
42. Krasnov E.A., Saratkov A.S., Surov Yu. P. 1979. [Plants of the Crassulaceae family]. Tomsk. 208 p. (In Russian)

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЖИРНОКИСЛОТНОГО СОСТАВА ЛИПИДОВ СЕМЯН РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ *SALVIA* (LAMIACEAE)

© 2024 г. Е. В. Феськова^{1*}, В. Н. Леонтьев¹, А. А. Кислякова¹, И. Н. Тычина²,
Т. В. Гиль², Б. Ю. Аношенко², В. В. Титок²

¹Белорусский государственный технологический университет, г. Минск, Республика Беларусь

²Центральный ботанический сад НАН Беларуси, г. Минск, Республика Беларусь

*e-mail: lena.feskova@mail.ru

Поступила в редакцию 25.01.2024

После доработки 10.02.2024

Принята к публикации 13.02.2024

В работе представлены результаты определения жирнокислотного состава липидов семян девяти видов рода *Salvia* L. (Lamiaceae), интродуцированных в Центральном ботаническом саду НАН Беларуси (ЦБС). Отмечена значительная вариабельность в содержании жирных кислот в липидах семян исследованных видов: содержание пальмитиновой кислоты составляет в среднем около 7%, исключением является только *S. tomentosa* Mill. (0.12%). Липиды семян *S. aethiopsis* L., *S. sclarea* L., *S. deserta* Schang и *S. pratensis* L. богаты α-линоленовой кислотой (содержание более 40%). Массовая доля линолевой кислоты колеблется от 17.3% (у *S. aethiopsis*) до 64% (у *S. officinalis* L. и *S. tomentosa*). Установлено, что соотношения жирных кислот являются видоспецифичными. Доля влияния генотипа (вида) на изменчивость содержания основных жирных кислот находилась в диапазоне от 62 до 98% и, следовательно, влияние метеорологических условий составляло от 2 до 38%.

Ключевые слова: *Salvia*, жирнокислотный состав, линолевая кислота, α-линоленовая кислота, соотношение омега-6 и омега-3 жирных кислот, климатические условия

DOI: 10.31857/S0033994624020072, **EDN:** PYECKH

Шалфей (*Salvia* L.) — род многолетних травянистых растений и кустарников семейства Яснотковые (Lamiaceae). По информации из разных источников род насчитывает от 900 до 1049 видов [1–4]. В коллекционном фонде пряно-ароматических и лекарственных растений ЦБС род шалфей представлен 14 видами и одним сортом шалфея мускатного (*Salvia sclarea* L.) собственной селекции — Сюрприз.

Некоторые виды шалфея используют в пищевых и медицинских целях (табл. 1) [5].

В медицинских целях в той или иной степени применяют 19 видов шалфея, наиболее широко из них — 4 вида [5]. В Европейскую фармакопею внесены шалфей лекарственный (*Salvia officinalis* L.) (листья), шалфей краснокорневищный (*Salvia miltiorrhiza* Bunge) (корни и корневища) и шалфей кустарниковый (*Salvia fruticosa* Mill.) (листья), в фармакопею Японии — шалфей краснокорневищный (корни), в фармакопеях Республики Беларусь и Российской Федерации — шалфей лекарственный

(листья). Фармакопейные статьи на масло из соцветий шалфея мускатного и надземной части шалфея лавандолистного (*Salvia lavandulifolia* Vahl.) представлены в Европейской фармакопее, в фармакопее Республики Беларусь есть фармакопейная статья на масло шалфея мускатного [6–9].

Экстракты и эфирные масла шалфея обладают широким спектром биологической активности: антибактериальной, ветрогонной, мочегонной, спазмолитической, противовоспалительной, антиоксидантной, противоопухолевой, противодиабетической, анксиолитической и седативной. Эти растения издавна применяли в народной медицине для лечения эпилепсии, малярии, бронхита, туберкулеза, гепатита и др. [1].

Все виды рода *Salvia* являются эфиромасличными, поэтому биологические эффекты представителей этого рода связаны, в большей степени, со свойствами компонентов их эфирных масел, сосредоточенных главным образом в листьях и цветках растений. Семена шалфеев

Таблица 1. Области применения некоторых видов рода *Salvia* L.**Table 1.** Application of some *Salvia* species

Виды Species	Использование Uses	
	в пищевых целях food	в медицинских целях medicinal
<i>S. officinalis</i>	4	5
<i>S. fruticosa</i>	2	3
<i>S. lavandulifoliae</i>	2	3
<i>S. miltiorrhiza</i>	0	3
<i>S. columbariae</i>	3	2
<i>S. sclarea</i>	2	2
<i>S. verbenaca</i>	2	2
<i>S. microphylla</i>	2	2
<i>S. pomifera</i>	2	2
<i>S. viridis</i>	2	2
<i>S. carnosa</i>	1	2
<i>S. mellifera</i>	1	2
<i>S. lyrata</i>	0	2
<i>S. apiana</i>	3	1
<i>S. elegans</i>	3	1
<i>S. lanata</i>	1	1
<i>S. leucantha</i>	0	1
<i>S. moorcroftiana</i>	1	1
<i>S. plebeia</i>	1	1

Примечание. Оценка: 1 = незначительно, 5 = отлично.

Note. Evaluation: 1 = insignificant, 5 = excellent.

в свою очередь богаты липидами и определение их жирнокислотного состава методом газовой хроматографии может быть использовано для идентификации перспективного растительного сырья, а также служить основой системы непрерывного контроля при производстве продуктов питания и фармацевтических продуктов из семян эфиромасличных культур [10].

Цель работы — сравнительный анализ жирнокислотного состава липидов семян различных видов рода *Salvia*, произрастающих на территории Республики Беларусь.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В качестве объектов исследования использовали семена девяти видов рода *Salvia* из коллекции ЦБС НАН Беларуси: шалфей эфиопский (*S. aethiopsis* L.), шалфей луговой (*S. pratensis* L.), шалфей лекарственный (*S. officinalis* L.), шалфей мутовчатый (*S. verticillata* L.), шалфей мускатный (*S. sclarea* L.), шалфей трансильванский (*S. transsylvanica* (Schur

ex Griseb.) Schur), шалфей пустынный (*S. deserta* Schang) и шалфей клейкий (*S. glutinosa* L.) урожая 2020—2022 гг.; шалфей войлочный (*S. tomentosa* Mill.) урожая 2021 года.

Количественное определение жирнокислотного состава липидов в семенах исследованных видов проводили по модифицированному методу Welch [11]. Семена образцов помещали в стеклянные ампулы, приливали 1 см³ раствора 2%-ной серной кислоты в метаноле с внутренним стандартом — маргариновой кислотой (C_{17:0}; 1.35 мг/см³). Ампулы запаивали на газовой горелке, гидролиз триацилглицеридов с одновременным метилированием образующихся жирных кислот проводили при температуре 80 ± 1 °C в течение 4 ч. Затем ампулы охлаждали до комнатной температуры, вскрывали и экстрагировали метиловые эфиры жирных кислот (МЭЖК) гексаном (0.5 см³). МЭЖК разделяли методом газовой хроматографии на приборе Agilent 7820A GC (Agilent Technologies, США), оснащенном пламенно-ионизационным детектором и капиллярной колонкой ZB-WAX 30 м × 0.25 мм × 0.25 мкм (полиэтиленгликоль). Условия хроматографирования: скорость потока гелия через колонку — 1.36 мл/мин, температура инжектора — 250 °C, детектора — 275 °C, температура термостата колонки — начальная 150 °C (выдержка 1 мин), подъем температуры термостата колонки со скоростью 2.9 °C/мин до 250 °C (выдержка 3 мин). Объем вводимой пробы — 1 мкл.

Идентификацию МЭЖК осуществляли по времени удерживания при разделении стандартных смесей этих веществ (AccuStandart, США) и оценивали в массовых долях от их суммарного содержания по отношению к внутреннему стандарту.

Все экстракционные и хроматографические анализы проводили в трех повторностях. Достоверность генотипических различий жирнокислотного состава липидов оценивали по наименьшей существенной разнице при $p < 0.05$ (НСР₀₅). Статистическую обработку полученных результатов выполняли с помощью компьютерной программы Microsoft Office Excel 2007.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты определения жирнокислотного состава липидов семян различных видов шалфея урожая 2021 года представлены в табл. 2.

Обнаружена значительная вариабельность в содержании жирных кислот в исследованных

Таблица 2. Жирнокислотный состав липидов семян различных видов рода *Salvia* L. урожая 2021 г.
Table 2. Fatty acid composition of seed lipids in different *Salvia* species harvested in 2021

Жирная кислота Fatty acid (C a: b)	Содержание жирных кислот в липидах семян, % Content of fatty acids in seed lipids, %									HCP ₀₅ LSD ₀₅
	<i>S. officinalis</i>	<i>S. verticillata</i>	<i>S. sclarea</i>	<i>S. deserta</i>	<i>S. glutinosa</i>	<i>S. pratensis</i>	<i>S. tomentosa</i>	<i>S. aethiopis</i>	<i>S. transsylvanica</i>	
C _{8:0}	0.01	0.02	CK	CK	—	0.13	0.17	0.11	0.30	0.00
C _{10:0}	0.01	0.04	CK	0.01	—	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00
C _{12:0}	0.03	0.15	0.03	0.09	0.03	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
C _{14:0}	0.14	0.11	0.05	0.06	0.05	0.05	0.08	0.05	0.06	0.01
C _{16:0}	8.69	7.78	7.42	6.19	5.76	5.96	0.12	7.36	6.46	0.21
C _{16:1}	0.08	0.10	0.09	0.07	0.05	0.05	0.15	0.09	0.06	0.01
C _{18:0}	3.01	2.67	3.20	3.30	3.94	3.27	2.49	2.78	4.45	0.09
C _{18:1 cis}	18.50	13.30	20.20	10.80	18.50	16.90	17.30	20.50	14.60	0.56
C _{18:1 trans}	1.28	1.65	1.41	1.04	0.88	0.95	1.63	1.48	0.87	0.03
C _{18:2}	64.00	37.40	18.70	28.80	39.00	28.80	63.80	17.30	31.60	0.81
C _{18:3 α}	0.91	28.60	45.80	44.00	28.60	40.20	0.64	47.30	36.60	1.00
C _{20:0}	0.16	0.48	0.16	0.25	0.26	0.17	0.19	0.17	0.31	0.01
C _{20:1}	0.53	0.47	0.60	0.63	0.54	0.62	0.55	0.59	0.61	0.02
C _{20:2}	0.04	0.15	0.08	0.19	0.16	0.10	0.09	0.07	0.11	0.01
C _{21:0}	0.02	0.08	0.01	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02	0.04	0.01
C _{22:0}	0.14	0.60	0.12	0.28	0.22	0.13	0.19	0.12	0.27	0.01
C _{22:1}	0.08	0.11	0.13	0.14	0.10	0.13	0.10	0.12	0.14	0.01
C _{23:0}	0.03	0.11	0.07	0.05	0.03	0.03	0.04	0.03	0.05	0.01
C _{24:0}	0.13	0.47	0.17	0.39	0.12	0.11	0.08	0.10	0.25	0.01

Примечание. Ca: b — число атомов углерода (a): количество двойных связей (b).
CK — следовые количества.
HCP₀₅ — наименьшая существенная разница между генотипами при уровне значимости < 0.05.
Note. Ca: b — number of carbon atoms (a): number of double bonds (b).
CK — trace amounts.
LSD₀₅ — the least significant difference between genotypes at the significance level < 0.05.

образцах. Содержание пальмитиновой кислоты (C_{16:0}) составляло в среднем около 7%. исключением является только шалфей войлочный, в котором липиды семян содержали только 0.12% этой кислоты.

Значимых различий в содержании стеариновой кислоты (C_{18:0}) у исследованных видов шалфея не наблюдали.

Семена шалфея эфиопского, ш. мускатного, ш. пустынного и ш. лугового насыщены α-линоленовой кислотой (C_{18:3}), ее содержание в липидах семян этих видов составляет более 40%.

Массовая доля линолевой кислоты (C_{18:2}) колеблется от 17.3% (у шалфея эфиопского) до 64% (у ш. лекарственного и ш. войлочного), в то время как содержание α-линоленовой кислоты (C_{18:3}) у двух последних видов составляет менее 1%.

Существуют две группы важнейших непредельных жирных кислот в организме человека: омега-3 и омега-6 [12]. Для гомеостаза и нормального развития человеческого организма важно не столько наличие той или иной жирной кислоты, сколько баланс двух полиненасыщенных незаменимых жирных кислот α-линоленовой (омега-3) и линолевой (омега-6).

Линолевая кислота обеспечивает в организме синтез арахидоновой кислоты, α -линоленовая кислота является предшественником синтеза в организме длинноцепочечных жирных кислот — эйкозапентаеновой и докозагексаеновой, которые обладают свойствами поддерживать сердечную и нервную деятельность, зрение, ослаблять симптомы воспалительных заболеваний.

Омега-3 жирные кислоты снижают уровень триглицеридов в сыворотке крови, уменьшают риск образования тромбов в сосудах, способствуют синтезу простагландинов, поддерживающих иммунный статус организма, и необходимых для нормального функционирования надпочечников и щитовидной железы [13].

Омега-6 жирные кислоты по своей сути не вредны для здоровья, если их получать из цельных продуктов, таких как орехи и семена [14, 15]. Однако при высоком потреблении данных кислот из рафинированных растительных масел, они могут способствовать воспалению и окислительному стрессу, которые в свою очередь могут привести к ухудшению здоровья сердца, если рацион питания характеризуется низким потреблением омега-3 жирных кислот [16, 17].

Линоленовой и линолевой кислотам, согласно анатомо-химически-терапевтической (АТХ) классификации, присвоены АТХ коды: линоленовой кислоте — АТХ код C10AX06 (омега-3 триглицериды, включая другие эфиры и кислоты),

C10AX — гипохолестеринемические и гипотриглицеридемические препараты для лечения заболеваний сердечно-сосудистой системы) [18], а линолевой кислоте — АТХ коды D02AC02 (линолевая кислота), D02AC52 (линолевая кислота в комбинации), D02AC — препараты, содержащие мягкий парафин и жиры для лечения заболеваний кожи [19, 20].

В табл. 3 представлено содержание насыщенных (НЖК), мононенасыщенных (МНЖК) и полиненасыщенных (ПНЖК) жирных кислот, а также соотношение омега-6: омега-3 жирных кислот в изученных видах шалфея.

Сумма НЖК по видам варьирует от 3.4% (у шалфея войлочного) до 12.5% (у шалфея мутноватого), сумма ненасыщенных жирных кислот (МНЖК + ПНЖК) — от 81.8% (у шалфея мутноватого) до почти 88% (у шалфея лугового и шалфея клейкого). Ненасыщенные жирные кислоты представлены в основном кислотами C_{18} .

Соотношение омега-6: омега-3 жирных кислот составляет от 0.37 (у шалфея эфиопского) до 99.7 (у шалфея войлочного).

Результаты анализа по определению жирнокислотного состава липидов семян различных видов шалфея свидетельствуют о том, что для применения в пищевой промышленности или в лечебных целях перспективными могут быть семена шалфея мутноватого и шалфея клейкого.

Таблица 3. Содержание НЖК, МНЖК, ПНЖК и соотношение омега-6: омега-3 жирных кислот в изученных видах рода *Salvia* L.

Table 3. Content of SFAs, MUFAs, PUFAs and the ratio of omega-6: omega-3 fatty acids in the studied *Salvia* species

Виды Species	НЖК, % SFAs, %	МНЖК, % MUFAs, %	ПНЖК, % PUFAs, %	омега-6: омега-3 omega-6: omega-3
<i>S. officinalis</i>	12.4	20.5	65.0	70.30
<i>S. verticillata</i>	12.5	15.6	66.2	1.31
<i>S. sclarea</i>	11.2	22.4	64.6	0.41
<i>S. deserta</i>	10.7	12.7	73.0	0.65
<i>S. glutinosa</i>	10.4	20.1	67.8	1.36
<i>S. pratensis</i>	9.9	18.7	69.1	0.72
<i>S. tomentosa</i>	3.4	19.7	64.5	99.70
<i>S. aethiopis</i>	10.7	22.8	64.7	0.37
<i>S. transsylvanica</i>	12.2	16.3	68.3	0.86
HCP ₀₅ LSD ₀₅	0.22	0.57	1.35	0.46

Примечание. HCP₀₅ — наименьшая существенная разница между генотипами при уровне значимости < 0.05.
Note. LSD₀₅ — the least significant difference between genotypes at the significance level < 0.05.

Также нами проведены исследования по оценке влияния климатических условий на содержание жирных кислот в липидах семян рода *Salvia*.

Масличность семян и жирнокислотный состав масла — генетически детерминированные признаки, но условия выращивания могут оказывать влияние на урожайность, накопление масла и его состав.

Климатические данные в период наблюдения получены с метеорологической станции Минск (местоположение метеостанции 53°55'43" с. ш., 27°38'7" в. д., высота над ур. моря 231 м) [21] и представлены в табл. 4 (местоположение ЦБС НАН Беларуси: 53°54'58" с. ш., 27°36'45" в. д.).

Период с мая по август 2022 года характеризовался минимальной суммой осадков. В июне среднемесячная температура во все годы наблюдения была выше климатической нормы, июнь 2020 года характеризовался значительными осадками, 2021 года — количество осадков было близким к климатической норме, в 2022 году осадков выпало на 36% ниже нормы.

Для июля 2020 и 2022 гг. была характерна температура ниже климатической нормы, в то время как июль 2021 г. был наиболее теплым (среднемесячная температура была выше климатической нормы почти на 3 °С) и засушливым (количество осадков ниже климатической нормы более чем на 50%).

Среднемесячная температура августа была ниже климатической нормы в 2020 и 2021 гг. Наиболее близким к климатической норме по выпадению осадков стал август 2021 г., а самым засушливым — август 2022 г.

Результаты дисперсионного анализа жирнокислотного состава в липидах семян растений изученных видов урожая 2020—2022 гг. представлены в табл. 5.

Установлены достоверные различия между видами шалфея по содержанию жирных кислот, за исключением минорных кислот: арахидовой (C_{20:0}), генэйкоциловой (C_{21:0}), бегеновой (C_{22:0}), трикоциловой (C_{23:0}), лигноцериновой (C_{24:0}), т. е. характер соотношения жирных кислот являлся видоспецифичным.

Таблица 4. Метеорологические показатели в период наблюдения
Table 4. Meteorological indicators during the observation period

Месяц Month	Май May	Июнь June	Июль July	Август August
2020 год Year 2020				
Средняя температура за месяц, °С / отклонение от климатической нормы, °С Average temperature for the month, °C / deviation from climatological norms, °C	10.4 / −3.0	19.2 / +2.1	17.4 / −1.7	17.8 / −0.4
Осадки, мм /% от климатической нормы Precipitation, mm /% of climatological norms	52 / 80	133 / 149	69 / 78	61 / 89
2021 год Year 2021				
Средняя температура за месяц, °С / отклонение от климатической нормы, °С Average temperature for the month, °C / deviation from climatological norms, °C	11.5 / −1.9	19.2 / +2.1	21.9 / +2.8	16.9 / −1.3
Осадки, мм /% от климатической нормы Precipitation, mm /% of climatological norms	113 / 171	84 / 107	41 / 43	74 / 104
2022 год Year 2022				
Средняя температура за месяц, °С / отклонение от климатической нормы, °С Average temperature for the month, °C / deviation from climatological norms, °C	10.8 / −2.6	18.3 / +1.2	17.9 / −1.2	20.5 / +2.3
Осадки, мм /% от климатической нормы Precipitation, mm /% of climatological norms	87 / 132	50 / 64	91 / 94	12 / 17

Таблица 5. Генетические различия жирнокислотного состава липидов семян некоторых видов рода *Salvia* L. (2020—2022 гг.)
Table 5. Genetic diversity of the fatty acid composition of seeds lipids of some species of the genus *Salvia* L. (2020—2022)

Жирная кислота Fatty acid (C a: b)	<i>S. glutinosa</i>	<i>S. deserta</i>	<i>S. officinalis</i>	<i>S. verticillata</i>	<i>S. sclarea</i>	<i>S. transsylvanica</i>	<i>S. pratensis</i>	<i>S. aethiops</i>	Среднее значение по всем генотипам Average value for all genotypes	min	max	F-критерий F-test	Доля влияния генотипа, (%) Fraction of genotype effects, (%)	HCP ₀₅ LSD ₀₅
C _{8:0}	0.00	0.00	0.08	0.12	0.10	0.21	0.13	0.13	0.09	0.00	0.30	4.0	64	0.10
C _{10:0}	0.00	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.04	1.6	44	0.01
C _{12:0}	0.01	0.03	0.01	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.15	1.0	22	0.05
C _{14:0}	0.05	0.06	0.11	0.05	0.04	0.04	0.04	0.05	0.06	0.02	0.14	4.7	58	0.03
C _{16:0}	5.76	6.06	7.63	6.49	7.08	5.44	5.88	6.91	6.48	4.74	8.69	6.7	62	0.88
C _{16:1}	0.06	0.06	0.07	0.08	0.09	0.05	0.04	0.06	0.06	0.02	0.10	3.1	49	0.02
C _{18:0}	3.70	3.25	2.32	2.40	3.02	3.30	3.52	2.72	3.15	1.97	4.45	4.9	62	0.69
C _{18:1cis}	18.60	9.72	13.80	10.50	17.20	11.00	17.30	15.50	14.2	8.86	21.50	8.7	65	3.57
C _{18:1trans}	0.90	0.98	1.19	1.36	1.36	0.80	0.92	1.31	1.11	0.75	1.65	16.9	82	0.17
C _{18:2}	39.00	28.10	71.00	41.40	21.20	32.00	29.80	18.50	34.10	17.30	74.70	158.0	98	3.97
C _{18:3α}	28.10	46.20	0.97	32.80	46.90	43.50	38.90	51.80	36.50	0.91	54.10	101.0	97	4.87
C _{20:0}	0.26	0.25	0.11	0.25	0.15	0.20	0.18	0.16	0.23	0.09	0.48	1.6	37	0.13
C _{20:1}	0.55	0.62	0.45	0.39	0.52	0.52	0.61	0.52	0.53	0.31	0.66	9.4	67	0.08
C _{20:2}	0.15	0.17	0.09	0.15	0.08	0.12	0.10	0.08	0.12	0.04	0.19	10.7	83	0.03
C _{21:0}	0.03	0.04	0.01	0.04	0.01	0.03	0.02	0.02	0.03	0.01	0.08	1.9	43	0.02
C _{22:0}	0.24	0.29	0.09	0.26	0.11	0.16	0.13	0.11	0.21	0.05	0.60	1.5	37	0.20
C _{22:1}	0.11	0.14	0.07	0.11	0.11	0.11	0.12	0.11	0.11	0.05	0.15	3.9	52	0.03
C _{23:0}	0.05	0.10	0.02	0.05	0.07	0.03	0.05	0.04	0.06	0.01	0.22	0.9	30	0.08
C _{24:0}	0.14	0.37	0.07	0.20	0.14	0.14	0.11	0.09	0.20	0.04	0.50	2.7	50	0.17

Примечание. Ca: b — число атомов углерода (a): количество двойных связей (b).

* — различия между генотипами достоверны при уровне значимости < 0.05.

** — различия между генотипами достоверны при уровне значимости < 0.01.

HCP₀₅ — наименьшая существенная разница между генотипами при уровне значимости < 0.05.

Note: Ca: b — number of carbon atoms (a): number of double bonds (b).

* — differences between genotypes are significant at the significance level < 0.05.

** — differences between genotypes are significant at the significance level < 0.01.

LSD₀₅ — the least significant difference between genotypes at the significance level < 0.05.

Содержание основных жирных кислот преимущественно контролируется генотипом — доля влияния вида (генотипа) на изменчивость содержания основных жирных кислот находилась в диапазоне от 62 до 98%. Следовательно, влияние метеорологических условий составляло от 2 до 38%. Наиболее стабильными оказались высокие содержания жирных кислот, например, линолевой ($C_{18:2}$) и α -линоленовой ($C_{18:3}$). Следует отметить, что, хотя содержание олеиновой кислоты ($C_{18:1\text{ cis}}$) было выше, однако оно являлось более метеозависимым, чем содержание элаидиновой кислоты ($C_{18:1\text{ trans}}$).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Впервые выполнен сравнительный анализ жирнокислотного состава липидов семян для девяти видов рода *Salvia* L. (Lamiaceae), интродуцированных в ЦБС НАН Беларуси: шалфей эфиопский (*S. aethiopis* L.), шалфей луговой (*S. pratensis* L.), шалфей лекарственный (*S. officinalis* L.), шалфей мутовчатый (*S. verticillata* L.), шалфей мускатный (*S. sclarea* L.), шалфей трансильванский (*S. transsylvanica* (Schur ex Griseb.) Schur), шалфей пустынный (*S. deserta* Schang) и шалфей клейкий (*S. glutinosa* L.)

урожая 2020—2022 гг.; шалфей войлочный (*S. tomentosa* Mill.) урожая 2021 года.

Липиды семян *S. aethiopis*, *S. sclarea*, *S. deserta* и *S. pratensis* насыщены α -линоленовой кислотой (содержание более 40%). Минимальное ее содержание (менее 1%) отмечено у *S. officinalis* и *S. tomentosa*, массовая доля линолевой кислоты колебалась от 17.3% (у *S. aethiopis*) до 64% (у *S. officinalis* и *S. tomentosa*).

Установлено, что характер соотношения жирных кислот является видоспецифичным. Доля влияния генотипа (вида) на изменчивость содержания основных жирных кислот находилась в диапазоне от 62 до 98%.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена в рамках НИР «Идентификация и анатомо-терапевтическо-химическая классификация биологически активных соединений коллекции лекарственных растений Центрального ботанического сада НАН Беларуси» ГПНИ «Химические процессы, реагенты и технологии, биорегуляторы и биоорганхимия».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Gharehbagh H. J., Ebrahimi M., Dabaghian F., Mojtaviet S., Hariri R., Saeedi M., Ali Faramarzi M., Khanavi M. 2023. Chemical composition, cholinesterase, and α -glucosidase inhibitory activity of the essential oils of some Iranian native *Salvia* species. — BMC Complementary Medicine and Therapies. 23: 184. <https://doi.org/10.1186/s12906-023-04004-w>
2. Walker J. B., Sytsma K. J. 2007. Staminal Evolution in the Genus *Salvia* (Lamiaceae): Molecular Phylogenetic Evidence for Multiple Origins of the Staminal Lever. — Annals of Botany. 100(2): 375—391. <https://doi.org/10.1093/aob/mcl176>
3. Plants of the World Online. *Salvia* L. <https://powo.science.kew.org/taxon/urn:lsid:ipni.org:names:30000096-2>
4. WFO Plant List. *Salvia* L. https://wfoplantlist.org/taxon/wfo-4000033888-2023-12?page=1&hide_syns=true
5. Plants for a future. Search for: *Salvia* <https://pfaf.org/USER/DatabaseSearchResult.aspx>
6. European Pharmacopoeia tenth edition. 2019. Council of Europe. Strasbourg. 4318 p.
7. The Japanese pharmacopoeia eighteenth edition. English version. 2021. The Ministry of health, labour and welfare. 2806 p.
8. Государственная фармакопея Республики Беларусь II. 2012. Т. 2. Контроль качества вспомогательных веществ и лекарственного растительного сырья. Молодечно. 472 с.
9. Институт фармакопеи и стандартизации в сфере обращения лекарственных средств. Шалфея лекарственного листа *Salviae officinalis* folia. <https://pharmacopoeia.regmed.ru/pharmacopoeia/izdanie-14/2/2-5/shalfeya-lekarstvennogo-listya-salviae-officinalis-folia/>
10. Лайковская И. В., Титок В. В., Леонтьев В. Н., Акулович И. Л. 2004. Генетический полиморфизм жирнокислотного состава липидов семян масличных культур. — Труды Белорусского государственного технологического университета. Сер. IV. Химия и технология органических веществ. 12: 179—183.
11. Welch R. W. 1977. A micro-method for the estimation of oil content and composition in seed crops. — Journal of the Science of Food and Agriculture. 28(7): 635—638. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740280710>

12. Moazzami Farida S. H., Radjabian T., Ranjbar M., Salami S. A., Rahmani N., Ghorbani A. 2016. Fatty acid patterns of seeds of some *Salvia* species from Iran – A Chemotaxonomic Approach. — Chemistry and Biodiversity. 13(4): 451–458. <https://doi.org/10.1002/cbdv.201500147>
13. Субботина М. А. 2009. Факторы, определяющие биологическую ценность растительных масел и жиров. — Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2(72): 86–90.
14. Djuricic I., Calder P. C. 2021. Beneficial outcomes of Omega-6 and Omega-3 polyunsaturated fatty acids on human health: an update for 2021. — Nutrients. 13(7). <https://doi.org/10.3390/nu13072421>
15. Harris W. S., Mozaffarian D., Rimm E., Kris-Etherton P., Rudel L. L., Appel L. J., Sacks F. 2009. Omega-6 Fatty Acids and Risk for Cardiovascular Disease: A science advisory from the american heart association nutrition subcommittee of the council on nutrition, physical activity, and metabolism; council on cardiovascular nursing; and council on epidemiology and prevention. — Circulation. 119(6): 902–907. <https://doi.org/10.1161/circulationaha.108.191627>
16. Johnson G. H., Fritsche K. 2012. Effect of Dietary Linoleic Acid on Markers of Inflammation in Healthy Persons: A systematic review of randomized controlled trials. — Journal of the academy of nutrition and dietetics. 112(7): 1029–1041. <https://doi.org/10.1016/j.jand.2012.03.029>
17. DiNicolantonio J. J., O'Keefe J. H. 2018. Omega-6 vegetable oils as a driver of coronary heart disease: the oxidized linoleic acid hypothesis. — Open Heart. 5(2). <https://doi.org/10.1136/openhrt-2018-000898>
18. ICD and ATC codes. <https://icdcode.info/russian/atc/code-c10ax.html>
19. ICD and ATC codes. <https://icdcode.info/deutsch/search/p0/s9/Linols%C3%A4ure>
20. ICD and ATC codes. <https://icdcode.info/russian/atc/code-d02ac.html>
21. Погода и климат. Погода в Минске. <http://www.pogodaiklimat.ru/forecast/26850.htm>

Comparative Analysis of Fatty Acid Composition of Lipids in Seeds of Various *Salvia* (Lamiaceae) Species

© 2024. E. V. Feskova^{1*}, V. N. Leontiev¹, A. A. Kisliakova¹, I. N. Tychina², T. V. Gil²,
B. Yu. Anoshenko², V. V. Titok²

¹Belarusian State Technological University, Minsk, Republic of Belarus

²Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

*e-mail: lena.feskova@mail.ru

Abstract — The article presents the results of a study of the fatty acid composition of seed lipids in some *Salvia* L. (Lamiaceae) species introduced in the Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus. Significant variability in the content of fatty acids in the seed lipids of the studied sage species was observed: the average content of palmitic acid was about 7% with the only exception being *S. tomentosa* Mill. (0.12%). The seeds of *S. aethiopsis* L., *S. sclarea* L., *S. deserta* Schang и *S. pratensis* L. are rich in α -linolenic acid (more than 40%). The content of linoleic acid ranges from 17.3% in *S. aethiopsis* to 64% in *S. officinalis* L. and *S. tomentosa*. It has been established that the nature of the fatty acid ratio is species-specific. The contribution of species to the variability of essential fatty acids ranged from 62 to 98% and, therefore, the influence of meteorological conditions ranged from 2 to 38%.

Keywords: *Salvia*, fatty acid composition, linoleic acid, α -linolenic acid, omega-6: omega-3, climatic conditions

ACKNOWLEDGMENTS

The work was carried out within the framework of the research project “Identification and anatomical-therapeutic-chemical classification of biologically active compounds from the collection of medicinal plants of the Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus” of the state scientific research program “Chemical processes, reagents and technologies, bioregulators and bioorganic chemistry”.

REFERENCES

1. Gharehbagh H. J., Ebrahimi M., Dabaghian F., Mojtaviet S., Hariri R., Saeedi M., Faramarzi M. A., Khanavi M. 2023. Chemical composition, cholinesterase, and α -glucosidase inhibitory activity of the essential oils of some Iranian native *Salvia* species. — BMC Complement. Med. Ther. 23: 184.
<https://doi.org/10.1186/s12906-023-04004-w>
2. Walker J. B., Sytsma K. J. 2007. Staminal evolution in the genus *Salvia* (Lamiaceae): molecular phylogenetic evidence for multiple origins of the staminal lever. — Ann. Bot. 100(2): 375—391.
<https://doi.org/10.1093/aob/mcl176>
3. Plants of the World Online. *Salvia* L.
<https://powo.science.kew.org/taxon/urn:lsid:ipni.org:names:30000096-2>
4. WFO Plant List. *Salvia* L.
<https://wfo.plantlist.org/taxon/wfo-4000033888-2023-12>
5. Plants for a future. Search for: *Salvia*.
<https://pfaf.org/user/Plant.aspx?LatinName=Salvia>
6. European pharmacopoeia 10th Edition. 2019. Council of Europe. Strasbourg. 4318 p.
7. The Japanese pharmacopoeia XVIII. (JP XVIII). English version. 2021. The Ministry of Health, Labour and Welfare. 2806 p.
<https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/0000066597.html>
8. [The state pharmacopoeia of the Republic of Belarus II. Vol. 2. Quality control of excipients and herbal substances]. 2012. Molodechno. 472 p. (In Russian)
9. [State Pharmacopoeia of the Russian Federation XIV. *Salviae officinalis* folia. Pharmacopoeial article FS.2.5.0051.15.]. Vol. IV. 2018. Moscow. P. 6614—6621.
<https://pharmacopoeia.regmed.ru/pharmacopoeia/izdanie-14/2/2-5/shalfeya-lekarstvennogo-listya-salviae-officinalis-folia/> (In Russian)
10. Lajkovskaya I. V., Titok V. V., Leont'ev V. N., Akulovich I. L. 2004. [Genetic polymorphism of fatty acid composition of oil-seed lipids]. — Proceedings of BSTU. Chemistry, Technology of Organic Substances and Biotechnology. 12: 179—183.
<https://elib.belstu.by/handle/123456789/30840> (In Russian)
11. Welch R. W. 1977. A micro-method for the estimation of oil content and composition in seed crops. — J. Sci. Food Agric. 28(7): 635—638.
<https://doi.org/10.1002/jsfa.2740280710>
12. Moazzami Farida S. H., Radjabian T., Ranjbar M., Salami S. A., Rahmani N., Ghorbani A. 2016. Fatty acid patterns of seeds of some *Salvia* species from Iran — A chemotaxonomic approach. — Chem. Biodiversity. 13(4): 451—458.
<https://doi.org/10.1002/cbdv.201500147>
13. Subbotina M. A. 2009. [Factors determining the biological value of vegetable oils and fats]. — Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2(72): 86—90.
<https://journals.kuzstu.ru/article/2416.pdf> (In Russian)
14. Djuricic I., Calder P. C. 2021. Beneficial Outcomes of Omega-6 and Omega-3 Polyunsaturated Fatty Acids on Human Health: An Update for 2021. — Nutrients. 13(7).
<https://doi.org/10.3390/nu13072421>
15. Harris W. S., Mozaffarian D., Rimm E., Kris-Etherton P., Rudel L. L., Appel L. J., Sacks F. 2009. Omega-6 Fatty Acids and Risk for Cardiovascular Disease: A science advisory from the american heart association nutrition subcommittee of the council on nutrition, physical activity, and metabolism; council on cardiovascular nursing; and council on epidemiology and prevention. — Circulation. 119(6): 902—907.
<https://doi.org/10.1161/circulationaha.108.191627>
16. Johnson G. H., Fritsche K. 2012. Effect of Dietary Linoleic Acid on Markers of Inflammation in Healthy Persons: A systematic review of randomized controlled trials. — Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics. 112(7): 1029—1041.
<https://doi.org/10.1016/j.jand.2012.03.029>
17. DiNicolantonio J. J., O'Keefe J. H. 2018. Omega-6 vegetable oils as a driver of coronary heart disease: the oxidized linoleic acid hypothesis. — Open Heart. 5(2).
<https://doi.org/10.1136/openhrt-2018-000898>
18. ICD and ATC codes.
<https://icdcode.info/russian/atc/code-c10ax.html>
19. ICD and ATC codes.
<https://icdcode.info/deutsch/search/p0/s9/Linols%C3%A4ure>
20. ICD and ATC codes.
<https://icdcode.info/russian/atc/code-d02ac.html>
21. [Weather and climate. Weather in Minsk].
<http://www.pogodaiklimat.ru/forecast/26850.htm>

КОМПОНЕНТНЫЙ СОСТАВ РЕСУРСНЫХ ВИДОВ

УДК 615.322

ФИТОХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПЛОДОВ *ELAEAGNUS ANGUSTIFOLIA* (ELAEAGNACEAE), ПРОИЗРАСТАЮЩЕГО В АСТРАХАНСКОЙ ОБЛАСТИ

© 2024 г. А. А. Цибизова, Г. Н. Генатуллина, А. Л. Ясенявская*, М. А. Самотруева

Астраханский государственный медицинский университет, г. Астрахань, Россия

*e-mail: yasen_9@mail.ru

Поступила в редакцию 21.02.2024

После доработки 01.03.2024

Принята к публикации 09.03.2024

Представлены результаты изучения компонентного состава плодов *Elaeagnus angustifolia* L. (Elaeagnaceae), произрастающего на территории Астраханской области. Выявлено высокое содержание биологически активных веществ: флавоноидов, органических кислот, дубильных веществ, аскорбиновой кислоты, что позволяет сделать вывод о перспективности использования плодов *E. angustifolia* в качестве основы для разработки лекарственных препаратов.

Ключевые слова: *Elaeagnus angustifolia*, фитохимический анализ, биологически активные вещества, фитосредства, Астраханская обл.

DOI: 10.31857/S0033994624020084, **EDN:** PYAGLZ

В настоящее время фитотерапия разрабатывает новые подходы к лечению заболеваний различного генеза. Интерес к фитотерапии растет, несмотря на инновационные достижения в создании химических лекарственных средств, что обусловлено широким спектром фармакологической активности и комплексным органопротекторным эффектом фитопрепаратов, а также их низкой токсичностью при достаточно высокой эффективности и возможности длительного применения [1, 2]. Поиск новых природных источников с целью расширения базы лекарственного растительного сырья и оценка возможности его использования в медицинской практике являются важными фармакогностическими задачами. Следует отметить, что лекарственные растения могут использоваться как в качестве основы для лекарственных препаратов и как вспомогательные вещества при разработке лекарственных форм, выполняя при этом различные функции, в частности как формообразователи, наполнители, стабилизаторы, эмульгаторы и др. [3].

Особый интерес представляет лох узколистный (*Elaeagnus angustifolia* L.), — широко распространенное растение на территории Российской Федерации. Существуют данные, свидетельствующие о применении разных частей этого растения в народной медицине, а также для пищевых целей, что преимущественно относится к плодам

[4]. В народной медицине различные части лоха узколистного используют в лечении заболеваний бронхолегочной, пищеварительной и мочевыделительной систем, в качестве противовоспалительного, регенераторного, общеукрепляющего и диуретического средства [5]. Фитохимические исследования плодов и листьев *E. angustifolia* показали наличие флавоноидных соединений, полисахаридов, ситостеролов, сердечных гликозидов, терпеноидов, кумаринов, фенолкарбоновых кислот, аминокислот, сапонинов, каротиноидов, витаминов и дубильных веществ. Отмечено, что плоды этого вида содержат в большом количестве витамины (токоферол, каротин, аскорбиновую кислоту, тиамин), минеральные вещества (кальций, магний, калий, железо, цинк и др.) [6, 7]. Компонентный состав плодов *E. angustifolia* варьирует в зависимости от особенностей их выращивания, качества почвы, географического положения и климатических условий. Установлено, что произрастание *E. angustifolia* на засоленных почвах и в условиях сухого континентального климата способствует высокому накоплению биологически активных веществ [8].

Целью работы является изучение компонентного состава плодов *E. angustifolia*, произрастающего на территории Астраханской области, для обоснования возможности применения в качестве основы для разработки лекарственных препаратов.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Плоды *E. angustifolia* собирали в июле 2023 г. на территории Приволжского района Астраханской области и высушивали до воздушно-сухого состояния. Количественную оценку биологически-активных веществ (БАВ) проводили в пересчете на абсолютно сухое сырье согласно методикам, изложенным в Государственной фармакопее. Флавоноиды определяли спектрофотометрическим методом (ПЭ-5400В; Россия) в спиртовом извлечении, органические кислоты, дубильные вещества и витамин С — титриметрически в водном извлечении.

Количественное определение флавоноидов проводили в извлечении, полученном на 70%-ном этиловом спирте в соотношении 1:10, путем настаивания на водяной бане при температуре 60 °С в течение двух часов при периодическом перемешивании. В связи с тем, что существуют достоверные данные о наличии в плодах кверцетина [8], пересчет вели на кверцетин с использованием государственного стандартного образца (чистота основного вещества не менее 98%; ТУ 6-09-10-745-78).

Органические кислоты определяли титрованием раствором едкого натра (0.01 моль/л) в пересчете на яблочную кислоту до перехода окраски от зеленоватой до лиловой. Дубильные вещества в водном извлечении также определяли титрованием 0.1 н. раствором перманганата калия в пересчете на танин до появления золотисто-желтого окрашивания. Аскорбиновую кислоту определяли титрованием 0.001 н. раствором 2,6-дихлорфенолиндифенолята натрия до появления розовой окраски.

Эксперименты повторяли в пяти сериях. Данные количественного анализа компонентного состава были обработаны статистически.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Данные о количественном содержании флавоноидов, органических кислот, дубильных веществ и аскорбиновой кислоты в плодах *E. angustifolia* представлены в табл. 1.

Фитохимический анализ показал, что количество флавоноидов в пересчете на кверцетин в плодах *E. angustifolia* составляет 2.3% (RSD = 5.8%), органических кислот в пересчете на яблочную кислоту — 1.2% (RSD = 0.7%), дубильных веществ в пересчете на танин — 3.2% (RSD = 2.1%) и аскорбиновой кислоты — 0.4% (RSD = 2%) (табл. 1). Тот факт, что RSD по БАВ составило не более 6%, свидетельствует о статистической значимости полученных результатов [9].

Полученные результаты сопоставимы с данными фитохимического анализа растений семейства *Elaeagnaceae*. В исследованиях установлено, что листья *Elaeagnus argentea*, содержат флавоноиды в количестве 1.92%, аскорбиновой кислоты — 0.32% [6]. Следует отметить, что количество дубильных веществ в плодах лоха узколистного, произрастающего на территории Астраханской области, является более высоким, чем в других регионах, что, вероятно, связано с климатическими особенностями района исследований (теплый, засушливый климат) [7, 10].

Выявленное содержание изученных БАВ, позволяет сделать вывод о перспективности использования плодов *E. angustifolia* в качестве основы для получения фитосредств.

Таблица 1. Содержание биологически активных веществ в плодах *Elaeagnus angustifolia*
Table 1. The content of biologically active substances in the fruits of *Elaeagnus angustifolia*

Биологически активное вещество Biologically active substance	Статистические параметры Statistical parameters			
	X _{ср}	S	ε	RSD
Флавоноиды (в пересчете на кверцетин), % Flavonoids (expressed as quercetin), %	2.26	0.132	4.7	5.8
Органические кислоты (в пересчете на яблочную кислоту), % Organic acids (expressed as malic acid), %	1.22	0.083	0.67	0.7
Дубильные вещества (в пересчете на танин), % Tannins,%	3.21	0.07	5.7	2.1
Аскорбиновая кислота, % Ascorbic acid, %	0.42	0.0851	1.1	2

Примечание. X_{ср} — среднее значение выборки; S — стандартное отклонение; ε — относительная ошибка, %; RSD — коэффициент вариации, %.
Note. X_{ав} — average value; S — standard deviation; ε — relative error of the average result, %; RSD — coefficient of variation, %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведенного фитохимического анализа плодов лоха узколистого *Elaeagnus argentea* L., произрастающего на территории Астраханской области, была определена массовая доля флавоноидов, которая составила 2.3% (RSD = 5.8%), органических кислот — 1.2% (RSD = 0.7%), дубильных веществ — 3.2% (RSD = 2.1%) и аскорбиновой кислоты — 0.42% (RSD = 2%). Высокое содержание указанных биологически активных веществ в плодах *E. angustifolia* в районе исследования показывает, что они могут быть использованы в качестве основы для получения фитосредств

и свидетельствует о перспективности дальнейших исследований их фармакологических свойств.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена в рамках государственного задания (№ 124020300056-9) Министерства здравоохранения Российской Федерации в части проведения НИР по теме «Поиск и разработка высокостабильной липосомальной системы для инкапсулирования соединений с потенциальной антибактериальной активностью на примере хиназолиновых производных, активных в отношении *S. aureus*».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Chen S. L., Yu H., Luo H. M., Wu K., Li K. F., Steinmetz A. 2016. Conservation and rational use of medicinal plants: problems, progress and prospects. — Chin. Med. 11: 37. <https://doi.org/10.1186/s13020-016-0108-7>
2. Shaky A. K. 2016. Medicinal plants: future source of new drugs. — Int. J. Herb. Med. 4(4): 59—64. <https://www.florajournal.com/archives/2016/vol4issue4/PartA/4-2-13-120.pdf>
3. Süntar I. 2020. Importance of ethnopharmacological studies in drug discovery: role of medicinal plants. — Phytochem. Rev. 19(5): 1199—1209. <https://doi.org/10.1007/s11101-019-09629-9>
4. Сальникова Н. А., Цибизова А. А., Шур Ю. В. 2018. Перспективы применения растений рода *Elaeagnus* в фармацевтической и пищевой промышленности. — Бюллетень науки и практики. 4(12): 134—147. <http://doi.org/10.5281/zenodo.2255667>
5. Forzaei M. H., Bahramsoltani R., Abbasabadi Z., Rahimi R. 2015. A comprehensive review of the phytochemical and pharmacological aspects of *Elaeagnus angustifolia* L. — J. Pharm. Pharmacol. 67(11): 1467—1480. <https://doi.org/10.1111/jphp.12442>
6. Сальникова Н. А., Шур Ю. В., Цибизова А. А. 2021. Фитохимический анализ листьев лоха серебристого *Elaeagnus argentea*. — Разработка и регистрация лекарственных средств. 10(3): 95—99. <https://doi.org/10.33380/2305-2066-2021-10-3-95-99>
7. Nikam F., Azadi A., Barzegar A., Faridi P., Tanideh N., Zarshenas M. M. 2016. Phytochemistry and phytotherapeutic aspects of *Elaeagnus angustifolia* L. — Curr. Drug. Discov. Technol. 13(4): 199—210. <https://doi.org/10.2174/1570163813666160905115325>
8. Hamidpour R., Hamidpour S., Dustmohamadi P. 2019. Chemistry, Pharmacology and Medicinal Properties of Russian olive (*Elaeagnus angustifolia* L.). — Cancer. Sci. Res. Open Access. 6(1): 1—7. <https://doi.org/10.15226/csroa.2019.00151>
9. Свечкарь В. П., Буданова Н. А., Григорьева И. В., Пирогова И. М. 2015. Использование валидации в фармацевтической практике на примере определения примесей в спирте этиловом. — Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 7—2: 263—267. <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=7006>
10. Top S. M., Preston S. M., Dukes J. S., Taranil N. 2017. Climate influences the content and chemical composition of foliar tannins in green and aging tissues of *Quercus rubra*. — Front. Plant Sci. 8: 423. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00423>

Phytochemical Analysis of the Fruits of *Elaeagnus Angustifolia* (Elaeagnaceae) from the Astrakhan Region

© 2024. A. A. Tsibizova, G. N. Genatullina, A. L. Yasyenyavskaya*, M. A. Samotrueva

Astrakhan State Medical University, Astrakhan, Russia

*e-mail: yasen_9@mail.ru

Abstract — Recently, there has been an expansion in the pharmaceutical market due to the wider use of medicinal plant raw materials, despite innovative achievements in the development of novel pharmaceuticals. Inter-

est in herbal medicines is based on wide range of pharmacological activity and the complex organoprotective effects of phytopreparations, as well as their low toxicity with sufficiently high efficiency and the possibility of long-term use. Currently, phytotherapy significantly expands the scope of its application, developing strategically new approaches to the treatment of diseases of various origins, thereby determining the need to study medicinal plant raw materials from the standpoint of phytochemical analysis, safety and effectiveness. The purposeful study of plants is one of the main approaches in the search for promising types of plant raw materials. The purpose of the work is to study the component composition of the fruits of *Elaeagnus angustifolia* L. from the Astrakhan region. According to the results obtained during the phytochemical analysis of the fruits of *E. angustifolia*, a high content of biologically active substances (flavonoids, organic acids, tannins, ascorbic acid) was determined, which allows to consider the prospects of using *E. angustifolia* fruits as a source for the development of novel medicines.

Keywords: *Elaeagnus angustifolia*, biologically active substances, herbal remedies, Astrakhan

ACKNOWLEDGMENTS

The work was carried out within the framework of the state assignment (n. 124020300056-9) of the Ministry of Health of the Russian Federation regarding research topic “Search and development of a highly stable liposomal system for encapsulating compounds with potential antibacterial activity: case study of quinazoline derivatives active against *S. aureus*”.

REFERENCES

1. Chen S. L., Yu H., Luo H. M., Wu K., Li K. F., Steinmetz A. 2016. Conservation and rational use of medicinal plants: problems, progress and prospects. — Chin. Med. 11: 37.
<https://doi.org/10.1186/s13020-016-0108-7>
2. Shakya A. K. 2016. Medicinal plants: future source of new drugs. — Int. J. Herb. Med. 4(4): 59—64.
<https://www.florajournal.com/archives/2016/vol4issue4/PartA/4-2-13-120.pdf>
3. Süntar I. 2020. Importance of ethnopharmacological studies in drug discovery: role of medicinal plants. — Phytochem. Rev. 19(5): 1199—1209.
<https://doi.org/10.1007/s11101-019-09629-9>
4. Sal'nikova N. A., Tsibizova A. A., Shur Yu. V. 2018. The prospects for the use of plants of the genus *Elaeagnus* in the pharmaceutical and food industries. — Bulletin of Science and Practice. 4(12): 134—147.
<http://doi.org/10.5281/zenodo.2255667> (In Russian)
5. Forzaei M. H., Bahramsoltani R., Abbasabadi Z., Rahimi R. 2015. A comprehensive review of the phytochemical and pharmacological aspects of *Elaeagnus angustifolia* L. — J. Pharm. Pharmacol. 67(11): 1467—1480.
<https://doi.org/10.1111/jphp.12442>
6. Salnikova N. A., Shur Yu. V., Tsibizova A. A. 2021. Phytochemical analysis of *Elaeagnus argentea* leaves. — Drug development and registration. 10(3): 95—99.
<https://doi.org/10.33380/2305-2066-2021-10-3-95-99> (In Russian)
7. Nikam F., Azadi A., Barzegar A., Faridi P., Tanideh N., Zarshenas M. M. 2016. Phytochemistry and phytotherapeutic aspects of *Elaeagnus angustifolia* L. — Curr. Drug. Discov. Technol. 13(4): 199—210.
<https://doi.org/10.2174/1570163813666160905115325>
8. Hamidpour R., Hamidpour S., Dustmohamadi P. 2019. Chemistry, pharmacology and medicinal properties of Russian olive (*Elaeagnus angustifolia* L.). — Cancer. Sci. Res. Open Access. 6(1): 1—7.
<https://doi.org/10.15226/csroa.2019.00151>
9. Svehkar' V. P., Budanova N. A., Grigor'eva I. V., Pirogova I. M. 2015. The use of validation in pharmaceutical practice for example, the determination of impurities in ethylalcohol. — Mezhdunarodnyj Zhurnal Prikladnyh i Fundamental'nyh Issledovaniy. 7-2: 263—267.
<https://applied-research.ru/ru/article/view?id=7006>. (In Russian)
10. Top S. M., Preston S. M., Dukes J. S., Taranil N. 2017. Climate influences the content and chemical composition of foliar tannins in green and aging tissues of *Quercus rubra*. — Front. Plant Sci. 8: 423.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00423>

УДК 92

ПАМЯТИ ЛИДИИ МАРКОВНЫ БЕЛЕНОВСКОЙ
(04.05.1940–09.02.2024)

© 2024. А. А. Науменко

Поступило 22.03.2024

© 2024. Naumenko A. A. In memoriam Lidia Markovna Belenovskaya
(May 4, 1940 – February 09, 2024)



DOI: 10.31857/S0033994624020091, EDN: PXTZBO

9 февраля 2024 г. в возрасте 83 лет скоропостижно ушла из жизни ведущий научный сотрудник лаборатории растительных ресурсов, кандидат химических наук Лидия Марковна Беленовская.

Л. М. Беленовская окончила химический факультет Ленинградского государственного Университета им. А. А. Жданова по специальности химия природных соединений, и вся ее трудовая деятельность, до последнего дня, была связана с Ботаническим институтом им. В. Л. Комарова РАН (БИН). Она начала работать в институте сразу после окончания университета и прошла путь от ст. лаборанта до ведущего научного сотрудника и заведующей Лабораторией химии растений Отдела растительные ресурсы.

В 1964 году Лидия Марковна поступила в аспирантуру БИН РАН и в 1967 году успешно защитила диссертацию на тему «Исследование кумаринового состава некоторых среднеазиатских видов рода *Prangos*».

Приход Лидии Марковны Беленовской в Лабораторию химии растений (январь 1968 года) совпал с периодом расцвета Отдела растительных ресурсов, в который эта лаборатория входила в то время. Руководителем отдела в 1960–1982 гг. был выдающийся ученый Александр Александрович Федоров. Под его руководством отдел стал одним из ведущих подразделений Ботанического института. Значительно расширились и углубились исследования наиболее важных групп полезных растений, содержащих биологически активные вещества лечебного действия, пищевые красители, таниды для дубления и др.; проводились поиски и изучение полезных растений во многих регионах СССР, а также за рубежом в Монгольской Народной Республике.

Л. М. Беленовская начала работать в Лаборатории химии растений, используя новые химические, физико-химические (различные виды хроматографии) и физические (молекулярная спектроскопия) методы изучения природных соединений. Ее исследования проводились по двум основным темам: 1) Изучение некоторых кумариноносных растений Северо-Западной флоры; 2) Хемотаксономическое изучение видов рода *Dictamnus*. Изучение локализации кумариновых соединений и эфирных масел в секреторныхместилищах различных органов видов рода *Dictamnus*, произрастающих в СССР. В рамках работы над первой темой исследованы 8 видов рода *Trifolium* L. Отобраны 3 наиболее интересных вида (*T. repens* L., *T. arvense* L. и *T. medium* L.), которые изучены более детально. По второй теме изучали кумариновый состав плодов, надземной фитомассы и корней *Distamnus gymnostylis* Steven. Изучена локализация кумаринов в различных секреторныхместилищах *D. gymnostylis*. Результаты этих работ были опубликованы в ряде тематических сборников в 5-й серии Трудов БИН АН СССР, ответственным редактором которых был Ал. Ал. Федоров.

Большой вклад Лидия Марковна Беленовская внесла в изучение растительных ресурсов флоры Монголии, неоднократно участвуя в работе советско-монгольской экспедиции АН СССР и АН МНР. В течение 4 лет, с 1971 года по 1974 год, Л. М. Беленовская входила в состав полевого ресурсоведческого отряда совместной советско-монгольской комплексной биологической экспедиции, которую возглавляла Лидия Павловна Маркова. Основными направлениями этой работы были: 1) поиск растений, содержащих биологически активные вещества (флавоноиды, кумарины, тритерпеноиды и проазулены); 2) выявление эфирномасличных растений, перспективных для использования в парфюмерии и медицине; 3) выявление танидоносных растений; 4) выяснение распространения ценного лекарственного и технического растения солодки уральской и определение ориентировочных запасов ее сырья. Для разработки полевых маршрутов проводили предварительный ресурсоведческий анализ флоры отдельных ботанико-географических районов МНР, уточнялась география отдельных видов, были собраны сведения об использовании растений в народной монгольской и тибетской медицине. За 4 полевых сезона был проделан маршрут протяженностью около 30 тыс. км, который прошел от Хангайского лесостепного района на севере до пустыни Заалтайской Гоби на юге и от пустынно-степной котловины Больших озер на западе, до Прихинганского горно-степного района на востоке. Были собраны и обработаны полевые материалы по распространению наиболее перспективных видов из семейств *Lamiaceae* и *Asteraceae*, а также проведена ресурсоведческая оценка видов и определены объекты для изучения состава флавоноидов, кумаринов и эфирных масел. В 1972—1973 гг. Л. М. Беленовская не только проводила исследования биологически активных веществ в собранных растениях, но и обучала методам исследования флавоноидов сотрудницу Института биологии МНР Д. Хишгее. По результатам этой многолетней работы коллективом экспедиции, в который входила Лидия Марковна, была составлена сводка «Дикорастущие полезные растения флоры МНР» (1985 г.).

С 1975 по 1978 Л. М. Беленовская выполняла обязанности заместителя заведующей Лаборатории химии растений И. С. Кожиной, а с 1979 до апреля 1998 г. — заведовала этой лабораторией. Под руководством Л. М. Беленовской работа сотрудников Лаборатории велась по нескольким темам: 1) «Комплексное изучение полезных свойств некоторых растений СССР» (1986—1990 гг.); 2) «Растения Северо-Запада европейской части РСФСР — источники биологически активных соединений» (1986—1990 гг.); 3) «Комплексное ботанико-химическое изучение таксонов высших растений с целью прогнозирования содержания в них химических соединений и оптимизации поиска видов с заданными свойствами на примере семейства *Lamiaceae*» (1989—2000 гг.); 4) Ботанические и фитохимические основы выявления полезных свойств высших растений и разработки режимов их рационального использования и охраны» (1991—2000 гг.). После структурной реорганизации Отдела растительных ресурсов в апреле 1998 года Л. М. Беленовская перешла в Лабораторию растительных ресурсов на должность ведущего научного сотрудника, где работала до последнего дня.

В качестве автора и ответственного редактора Лидия Марковна Беленовская принимала участие в ряде изданий Отдела растительных ресурсов. Во-первых, в капитальном многотомном справочнике, «Растительные ресурсы Советского Союза. (Цветковые растения, их химический состав и использование)» (1984—1996), первый том которого, был подготовлен под редакцией Александра Александровича Федорова. Л. М. Беленовская принимала участие в работе над семью томами этого справочника,

в шести из которых она была редактором химического раздела. Она также была членом авторского коллектива и научным редактором справочника «Растительные ресурсы России» (2008—2018).

Л. М. Беленовской опубликовано свыше 120 научных работ. Практически каждый год, а иногда и несколько раз в год, в журналах «Растительные ресурсы» и «Химия природных соединений» выходили обзоры Л. М. Беленовской, посвящённые разным группам полезных растений. За время работы в БИН РАН она принимала активное участие в изучении содержания терпеноидных и фенольных соединений в представителях ряда таксонов (виды родов *Prangos* Lindl., *Dictamnus* L., *Artemisia* L., *Ajania* Poljakov, *Olgaea* Pjin, *Filifolium* Kitam. и др.), в исследованиях полезных растений Средней Азии, Дальнего Востока, Монголии и других регионов. Лидия Марковна стала признанным специалистом мирового уровня в области химии флавоноидов рода *Artemisia*. Кроме того, ею получено авторское свидетельство на исследование «Способ получения ксантотоксина» (1964 г.).

Среди коллег Л. М. Беленовская пользовалась уважением и большим авторитетом. Ее вспоминают, как очень скромного человека, обладающего огромным трудолюбием и упорством в разрешении научных вопросов. Л. М. Беленовская была не только исследователем и высококвалифицированным специалистом, но и обладала педагогическим даром. Свой большой опыт и знания она всегда охотно передавала молодым сотрудникам Лаборатории химии растений, активно участвуя в подготовке новых кадров. Уделяла большое внимание повышению квалификации сотрудников лаборатории, руководила дипломными работами студентов ЛГУ, консультировала химические работы соискателей и аспирантов отдела. Л. М. Беленовская не входила в редколлегию журнала «Растительные ресурсы», но всегда доброжелательно откликалась на просьбы коллег о рецензировании статей для публикации в журнале и проводила необходимые консультации.

Лидия Марковна Беленовская работала до последнего дня. В первых числах февраля ею был закончен очередной обзор, посвященный вторичным метаболитам и биологической активности *Agastache rugosa*. Была определена тема следующей статьи — но, увы! Неожиданная и огромная потеря для науки. Все мы: ее родные, ученики, коллеги, лишились не только замечательного ученого, но и потрясающего человека: умного, чуткого, душевного. В нашей памяти навсегда останутся ее теплая, доброжелательная улыбка и мудрый взгляд.

СПИСОК ПЕЧАТНЫХ РАБОТ Л. М. БЕЛЕНОВСКОЙ

1964

Кумарины из корней *Prangos fedtschenkoi*. — Журнал прикладной химии. 37(нд¹): нд. (в соавторстве с Г. А. Кузнецовой).

1965

Фурукумарины из надземной массы *Prangos fedtschenkoi*. — Журнал прикладной химии. 38(нд): нд. (в соавторстве с Г. А. Кузнецовой).

Выделение гидрата оксипейцеданина из корней *Prangos fedtschenkoi*. — Журнал прикладной химии. 38(нд): нд. (в соавторстве с Г. А. Кузнецовой).

Химическое изучение корней *Prangos ornata*. — Журнал прикладной химии. 38(нд): нд. (в соавторстве с Г. А. Кузнецовой).

Беленовская Л. М., Кузнецова Г. А. Способ получения ксантотоксина. Авторское свидетельство SU171085 A1, 11.05.1965. Заявка № 914255/31-16 от 27.07.1964.

1966

Пранчимгин — новый кумарин из корней *Prangos tschimganica*. — Химия природных соединений. 2(4): 575 (в соавторстве с Г. А. Кузнецовой).

Фурукумарины из корней *Prangos isphairamica*. — Растительные ресурсы. 2(1): 57—58 (в соавторстве с Г. А. Кузнецовой).

1969

Некоторые дополнительные сведения о кумариновом составе *Prangos fedtschenkoi*, *P. bucharica*, *P. isphairamica*. — Журнал прикладной химии. 42(2): 471 (в соавторстве с Г. А. Кузнецовой).

Кумарины из корней плодов *Prangos bucharica*. — Журнал прикладной химии. 42(3): 723 (в соавторстве с Г. А. Кузнецовой и Л. В. Кузьминой).

1972

Локализация кумариновых соединений в секреторныхместилищах надземных органов *Dictanmus gymnostylis*. — Труды БИН. Серия 5. Растительное сырье. Вып. 16: 10—23 (в соавторстве с Г. А. Денисовой).

1975

Обследование растений флоры Монгольской Республики на содержание биологически активных веществ. — В сб.: Структура и динамика основных экосистем МНР. С. 157—189 (в соавторстве с Л. П. Марковой, Т. П. Надежиной, В. С. Синицким, Х. Тумбаа, У. Лигаа, Ж. Га, Г. А. Фокиной, А. А. Щелоковой).

1976

Растения флоры МНР как источник фенольных соединений. — Труды института Ботаники АН Монголии. Улан-Батор. С. 147—179 (в соавторстве с Л. П. Марковой, Т. П. Надежиной, В. С. Синицким, Х. Тумбаа, У. Лигаа).

1977

7-изопентенилоксикумарин из *Heracleum dissectum*. — Химия природных соединений. 13(4): 574 (в соавторстве с В. С. Синицким, Х. Тумбаа).

Флавоноиды *Ajania fruticulosa*. — Химия природных соединений. 13(4): 575—576 (в соавторстве с Л. П. Марковой, Т. П. Надежиной, У. Лигаа).

1978

Фенольные соединения *Artemisia palustris*. — Химия природных соединений. 14(3): 401 (в соавторстве с Л. П. Марковой, И. И. Чемесовой).

1979

Фенольные соединения *Ajania achilloides*. — Химия природных соединений. 15(2): 232—233 (в соавторстве с Л. П. Марковой).

¹ Нет данных.

1980

Фенольные соединения *Artemisia frigida*. — Химия природных соединений. 16(6): 834—835 (в соавторстве с Л. П. Марковой и Г. И. Капрановой).

1982

Фенольные соединения *Artemisia xerophytica*. — Химия природных соединений. 18(1): 121—122 (в соавторстве с Л. П. Марковой, И. И. Чемесовой).

Фенольные соединения *Artemisia sieversiana*. — Химия природных соединений. 18(4): 521 (в соавторстве с Л. П. Марковой, И. И. Чемесовой).

1983

Фенольные соединения *Artemisia gmelinii*. — Химия природных соединений. 19(3): 384—385 (в соавторстве с Л. П. Марковой, И. И. Чемесовой).

Флавоноиды *Artemisia adamsii*. — Химия природных соединений. 19(3): 385—386 (в соавторстве с Л. П. Марковой, И. И. Чемесовой).

1984

Флавоноиды *Artemisia rutifolia*. — Химия природных соединений. 20(2): 257 (в соавторстве с Л. П. Марковой, И. И. Чемесовой).

Флавоноиды *Artemisia xanthochroa*. — Химия природных соединений. 20(6): 789 (в соавторстве с Л. П. Марковой, И. И. Чемесовой).

1985

Дикорастущие полезные растения флоры Монгольской Народной Республики. Л. 236 с. (в соавторстве с Л. П. Марковой, Т. П. Надежиной, В. С. Синицким, У. Лигаа, П. Д. Соколовым, Л. А. Бакиной).

1986

Беленовская Л. М., Мусаев К. Л., Стуков А. Н., Бовгиря Г. А., Филатова Н. С. Способ получения хризоспленетина. Авторское свидетельство. Заявка № 1253007.

Флавоноиды некоторых видов полыни флоры Средней Азии. — В кн.: Рациональное использование растительных ресурсов Казахстана. С. 297—298 (в соавторстве с Л. П. Марковой, И. И. Чемесовой, А. Н. Стуковым).

1987

Противоопухолевая активность флавоноидов некоторых видов. — Растительные ресурсы. 23(1): 100—103 (в соавторстве с И. И. Чемесовой и А. Н. Стуковым).

1988

Итоги изучения полезных растений флоры МНР. — В кн.: Природные условия, растительный покров и животный мир Монголии. С. 231—242 (в соавторстве с Л. П. Марковой, Т. П. Надежиной, У. Лигаа).

1989

Флавоноиды *Artemisia gorjaevii* и *A. saissanica*. — Химия природных соединений. 25(3): 430 (в соавторстве с К. Л. Мусаевым).

1992

Флавоноиды некоторых видов рода *Artemisia* L. подрода *Seriphidium*. — Растительные ресурсы. 28(1): 91—94 (в соавторстве с К. Л. Мусаевым и М. К. Кукуновым).

Флавоноиды некоторых видов рода *Artemisia* L. флоры Монголии. — Растительные ресурсы. 28(1): 122—125 (в соавторстве с Л. П. Марковой).

1998

Антиоксидантная активность видов флоры Алтая. — Растительные ресурсы. 34(2): 1—8 (в соавторстве с А. Л. Шавардой, И. П. Чемесовой, Г. А. Фокиной, Т. В. Букреевой, Н. А. Медведевой, Т. Ю. Данчул, Л. И. Шаговой, Е. К. Александровой, В. Б. Васильевым).

2000

Сесквитерпеновые лактоны некоторых видов рода *Artemisia* L. — Растительные ресурсы. 36(1): 43—45.

2004

Продукты вторичного метаболизма *Hypericum perforatum* L. и их биологическая активность.— Растительные ресурсы. 40(3): 131—153 (в соавторстве с А. Л. Буданцевым).

2005

Беленовская Л. М., Коробков А. А. Флавоноиды некоторых видов рода *Artemisia*, выращенных в условиях Ленинградской области.— Растительные ресурсы. 41(3): 100—105 (в соавторстве с А. А. Коробковым).

2006

Нафтохиноны видов флоры России и их биологическая активность.— Растительные ресурсы. 42(4): 108—141 (в соавторстве с А. Л. Буданцевым).

2008

Компонентный состав и биологическая активность *Humulus lupulus* (Cannabaceae): Обзор результатов последних десятилетий.— Растительные ресурсы. 44(2): 132—154 (в соавторстве с А. Л. Буданцевым).

2009

Разнообразие флавоноидных агликонов у видов секции *Absinthium* рода *Artemisia* (Asteraceae).— Растительные ресурсы. 45(1): 92—106 (в соавторстве с А. А. Коробковым).

2010

Разнообразие флавоноидных агликонов у видов секции *Abrotanum* рода *Artemisia* (Asteraceae).— Растительные ресурсы. 46(4): 79—92 (в соавторстве с А. А. Коробковым).

2012

Разнообразие флавоноидных агликонов у видов секции *Artemisia* рода *Artemisia* (Asteraceae).— Растительные ресурсы. 48(4): 537—546 (в соавторстве с А. А. Коробковым).

2014

Компонентный состав и биологическая активность видов рода *Polygonatum* (Convallariaceae) флоры России.— Растительные ресурсы. 50(3): 458—497 (в соавторстве с А. Л. Буданцевым).

2015

Вторичные метаболиты плауновых Lycopodiaceae s. str. флоры России и их биологическая активность.— Растительные ресурсы. 51(2): 259—300 (в соавторстве с А. Л. Буданцевым).

Adiantum capillus-veneris L. (Adiantaceae): компонентный состав, использование в медицине, биологическая активность.— Растительные ресурсы. 51(4): 584—611 (в соавторстве с А. Л. Буданцевым).

2016

Успехи в изучении компонентного состава и биологической активности *Selaginella tamariscina* (Selaginellaceae).— Растительные ресурсы. 52(2): 177—201 (в соавторстве с А. Л. Буданцевым).

2017

Алкалоиды *Huperzia serrata* (Huperziaceae) и их биологическая активность.— Растительные ресурсы. 53(1): 5—8 (в соавторстве с А. Л. Буданцевым).

2018

Juglans mandshurica (Juglandaceae): Компонентный состав и биологическая активность.— Растительные ресурсы. 54(3): 307—346 (в соавторстве с А. Л. Буданцевым).

Gynostemma pentaphyllum (Cucurbitaceae): компонентный состав и биологическая активность.— Растительные ресурсы. 54(4): 443—495 (в соавторстве с А. Л. Буданцевым и Н. В. Битюковой).

2019

Успехи в изучении компонентного состава и биологической активности *Sanguisorba officinalis* (Rosaceae).— Растительные ресурсы. 55(3): 293—316 (в соавторстве с А. Л. Буданцевым и Н. В. Битюковой).

2020

Компонентный состав и биологическая активность *Crataegus pinnatifida* (Rosaceae).— Химия растительного сырья. 4: 31—58 (в соавторстве с А. Л. Буданцевым).

2021

Вторичные метаболиты и фармакологические свойства *Agrimonia pilosa* (Rosaceae).— Растительные ресурсы. 57(4): 291—307 (в соавторстве с А. Л. Буданцевым).

2022

Вторичные метаболиты и биологическая активность *Dictamnus dasycarpus* (Rutaceae).— Растительные ресурсы. 58(4): 327—341 (в соавторстве с Н. В. Битюковой).

2024

Вторичные метаболиты и биологическая активность *Agastache rugosa* (Lamiaceae).— Растительные ресурсы. 60(2): сдано в печать (в соавторстве с А. А. Науменко).

Автор химического раздела для более чем 100 семейств в многотомных изданиях:

«Растительные ресурсы СССР. Цветковые растения, их химический состав, использование»

«Дикорастущие полезные растения России»

«Растительные ресурсы России»

Редакционная деятельность

Редактор химических разделов изданий:

«Растительные ресурсы СССР. Цветковые растения, их химический состав, использование» (4—8 том) 1988—1994 гг.

«Дикорастущие полезные растения России» 2001 г.

«Растительные ресурсы России» (1—7 том) 2008—2016 гг.

Дополнения к тому 1 «Растительные ресурсы России» 2018 г.

**Глубокоуважаемые авторы статей
для журнала «Растительные ресурсы»**

В связи с переходом журнала в издательство Наука, соучредителем которого является РАН (г. Москва) изменились некоторые требования к оформлению рукописей:

Требования к предоставляемым материалам

- файл текстовой части статьи должен **включать в себя: индекс УДК**; заголовок статьи; Ф. И. О. всех авторов; их аффилиацию; аннотацию; ключевые слова; текст статьи (с формулами, таблицами, ссылками на рисунки); список литературы; информацию об авторах; отдельный лист подписей к рисункам; копии рисунков в порядке упоминания в тексте;
- формулы и таблицы располагают по месту в тексте статьи;
- место размещения рисунка отмечают порядковым номером рисунка и названием (только текст, без картинки!) и располагают в тексте статьи отдельным абзацем, следующим за абзацем с упоминанием рисунка (ссылкой на рисунок);

Например:

Текст: статьи. Текст: статьи. Текст: статьи. Текст: статьи. Текст: ста-
 тьи. Текст: статьи. Текст: статьи. Текст: статьи. Текст: статьи.
 Текст: статьи. Текст: статьи. Текст: статьи. Текст: статьи. Текст: ста-
 тьи. Текст: статьи.¶

1

Рис.:1.:Основные типы.

1

Текст.статьи.Текст.статьи.Текст.статьи.Текст.статьи.
Текст.статьи.Текст.статьи.Текст.статьи.Текст.статьи.Текст.статьи.
Текст.статьи.Текст.статьи.Текст.статьи.Текст.статьи.Текст.статьи.
Текст.статьи.¶

- текстовая часть и таблицы представляются только в Word;
- формулы представляются только в MathType.

Дата выхода в свет	Тираж	Формат 60 × 881/8 Зак.	Усл. печ. л. Цена свободная	Уч.-изд. л.
--------------------	-------	---------------------------	--------------------------------	-------------

Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС 77-82786 от 04 марта 2022 г.,
выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций

Издатель: Российская академия наук, 119991 Москва, Ленинский просп., 14
Исполнитель: ФГБУ “Издательство “Наука”: 121099, г. Москва, Шубинский пер., д. 6, стр. 1.
Отпечатано в ФГБУ “Издательство “Наука”: 121099, г. Москва, Шубинский пер., д. 6, стр. 1.

16+

Журналы РАН, выходящие в свет на русском языке

Автоматика и телемеханика	Лёд и Снег
Агрохимия	Лесоведение
Азия и Африка сегодня	Литология и полезные ископаемые
Акустический журнал	Мембраны и мембранные технологии
Астрономический вестник. Исследования солнечной системы	Металлы
Астрономический журнал	Микология и фитопатология
Биологические мембраны	Микробиология
Биология внутренних вод	Микроэлектроника
Биология моря	Молекулярная биология
Биоорганическая химия	Нейрохимия
Биофизика	Неорганические материалы
Биохимия	Нефтехимия
Ботанический журнал	Новая и новейшая история
Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук	Общественные науки и современность
Вестник древней истории	Общество и экономика
Вестник Российской академии наук	Океанология
Вестник российской сельскохозяйственной науки	Онтогенез
Водные ресурсы	Палеонтологический журнал
Вопросы истории естествознания и техники	Паразитология
Вопросы ихтиологии	Петрология
Вопросы языкознания	Письма в Астрономический журнал
Вулканология и сейсмология	Письма в Журнал экспериментальной и теоретической физики
Высокомолекулярные соединения. Серия А	Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования
Высокомолекулярные соединения. Серия Б	Почвоведение
Высокомолекулярные соединения. Серия С	Приборы и техника эксперимента
Генетика	Прикладная биохимия и микробиология
Геология рудных месторождений	Прикладная математика и механика
Геомагнетизм и аэронавигация	Проблемы Дальнего Востока
Геоморфология и палеогеография	Проблемы машиностроения и надежности машин
Геотектоника	Проблемы передачи информации
Геохимия	Программирование
Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геоэкология	Психологический журнал
Государство и право	Радиационная биология. Радиоэкология
Дефектоскопия	Радиотехника и электроника
Дифференциальные уравнения	Радиохимия
Доклады Российской академии наук. Математика, информатика, процессы управления	Расплавы
Доклады Российской академии наук. Науки о жизни	Растительные ресурсы
Доклады Российской академии наук. Науки о Земле	Российская археология
Доклады Российской академии наук. Физика, технические науки	Российская история
Доклады Российской академии наук. Химия, науки о материалах	Российская сельскохозяйственная наука
Журнал аналитической химии	Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова
Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова	Русская литература
Журнал вычислительной математики и математической физики	Русская речь
Журнал неорганической химии	Сенсорные системы
Журнал общей биологии	Славяноведение
Журнал общей химии	Современная Европа
Журнал органической химии	Социологические исследования
Журнал прикладной химии	Стратиграфия. Геологическая корреляция
Журнал физической химии	США & Канада: экономика, политика, культура
Журнал эволюционной биохимии и физиологии	Теоретические основы химической технологии
Журнал экспериментальной и теоретической физики	Теплофизика высоких температур
Записки Российского минералогического общества	Успехи современной биологии
Зоологический журнал	Успехи физиологических наук
Известия Российской академии наук. Механика жидкости и газа	Физика Земли
Известия Российской академии наук. Механика твердого тела	Физика и химия стекла
Известия Российской академии наук. Серия биологическая	Физика металлов и металловедение
Известия Российской академии наук. Серия географическая	Физика плазмы
Известия Российской академии наук. Серия литературы и языка	Физикохимия поверхности и защита материалов
Известия Российской академии наук. Серия физическая	Физиология растений
Известия Российской академии наук. Теория и системы управления	Физиология человека
Известия Российской академии наук. Физика атмосферы и океана	Химическая физика
Известия Российской академии наук. Энергетика	Химия высоких энергий
Известия Русского географического общества	Химия твердого топлива
Исследование Земли из Космоса	Цитология
Кинетика и катализ	Человек
Коллоидный журнал	Экология
Координационная химия	Экономика и математические методы
Космические исследования	Электрохимия
Кристаллография	Энтомологическое обозрение
Латинская Америка	Этнографическое обозрение
	Ядерная физика