ISSN 0033-9946

Том 60, выпуск 1 Январь - Март 2024

ЖУРНАЛ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

РАСТИТЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ

300 лет Российская Академия Наук

НАУКА
1727

СОДЕРЖАНИЕ

Том 60, вып. 1, 2024

ОБЗОРЫ

Противогриппозная активность соединений, полученных из лекарственных растений (Часть I)

В. А. Федорова, К. В. Сивак, К. И. Стосман 3

Компонентный состав и биологическая активность дикорастущих представителей рода *Linum* (Linaceae)

А. А. Науменко-Светлова 21

Борщевик сосновского *Heracleum sosnowskyi* (Apiaceae): уничтожение или рациональное использование растительного сырья?

Н. Н. Лунева 54

СТАТЬИ И СООБЩЕНИЯ

Ресурсы полезных растений и растительных сообществ

Оценка возможностей использования фармакопейных растений Забайкальского края

О. А. Попова, Т. Е. Ткачук, Н. А. Чащина, А. П. Лесков, Ю. В. Никифорова, М. В. Лаевская 69

Интродукция ресурсных видов

Особенности видового состава и состояния интродуцентов в дендрариях Джаныбекского стационара в полупустыне Северного Прикаспия

М. Л. Сиземская, М. К. Сапанова 80

Компонентный состав ресурсных видов

Характеристика биологически активных соединений коры *Juniperus communis* (Cupressaceae)

Н. В. Селиванова, М. А. Пустынная, М. А. Гусакова, К. Г. Боголицын 94

Компонентный состав надземных частей видов рода *Centaurea* (Asteraceae), произрастающих в Сибири и Средней Азии

Е. А. Кастерова, А. С. Ревушкин, А. Л. Эбель 104

Биологическая активность растений

Calendula officinalis (Asteraceae) как радиосенсибилизатор для лучевой терапии опухолей

С. Д. Колдман, В. А. Колдман, А. В. Белоусов, Л. И. Мазалецкая 112

Contents

Vol. 60, issue 1, 2024

REVIEWS

Anti-influenza activity of compounds derived from medicinal plants (Part I)
V. A. Fedorova, K. V. Sivak, K. I. Stosman 3

Chemical composition and biological activity of wild *Linum* (Linaceae) species
A. A. Naumenko-Svetlova 21

Heracleum sosnowskyi Manden. (Apiaceae): eradication or wise utilization of plant raw materials?
N. N. Luneva 54

ARTICLES AND COMMUNICATIONS

Resources of Useful Plants

Assessment of the prospects for using pharmacopoeial plants of the Trans-Baikal Territory
O. A. Popova, T. E. Tkachuk, N. A. Chashchina, A. P. Leskov, Y. V. Nikiforova, M. V. Laevskaya 69

Introduction of Resourse Species

Features of the introduced species composition and state in the arboreta of Dzhanybek research station in the northern Pre-Caspian semi-desert
M. L. Sizemskaya, M. K. Sapanov 80

Component Structure of Resource Species

Bioactive compounds from the bark of *Juniperus communis* (Cupressaceae)
N. V. Selivanova, M. A. Pustynnaya, M. A. Gusakova, K. G. Bogolitsyn 94

Component composition of the aerial parts of *Centaurea* (Asteraceae) species from Siberia and Central Asia
E. A. Kasterova, A. S. Revushkin, A. L. Ebel 104

Biological Activity of Resource Species

Calendula officinalis (Asteraceae) as a radiosensitizer in radiotherapy of tumors
S. D. Koldman, V. A. Koldman, A. V. Belousov, L. I. Mazaletskaya 112

РАСТИТЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ, 2024, том 60, вып. 1, с. 3–20

ОБЗОРЫ

УДК 615.322 + 615.281.8

ПРОТИВОГРИППОЗНАЯ АКТИВНОСТЬ СОЕДИНЕНИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ (ЧАСТЬ I)

© 2024 г. В. А. Федорова*, К. В. Сивак, К. И. Стосман

НИИ гриппа им. А. А. Смородинцева Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия

**e-mail: vikusik_bio_24@mail.ru*

Поступила в редакцию 24.11.2023 г.
После доработки 08.12.2023 г.
Принята к публикации 20.12.2023 г.

В обзоре (1 часть) представлен анализ публикаций, посвященных противовирусной активности лекарственных растений в отношении вируса гриппа. Проведенный анализ показал, что 63 растения являются весьма перспективными источниками для получения противогриппозных препаратов. Их корни, стебли, листья и плоды содержат разнообразные по своей химической природе соединения, ингибирующие репродукцию вируса гриппа, как *in vitro*, так и *in vivo*. При этом мишенью для этих соединений могут быть не только компоненты вирусной частицы (гликопротеины оболочки вируса и компоненты полимеразного комплекса), но и сигнальные пути клетки, используемые вирусом на разных этапах своего жизненного цикла. Первая часть нашего обзора посвящена активным веществам, содержащимся в 28 растениях.

Ключевые слова: лекарственные растения, растительные экстракты, вирусы гриппа, противовирусная активность

DOI: 10.31857/S0033994624010019, **EDN:** HIOAXD

Грипп, являющийся высоко контагиозным вирусным заболеванием, до сих пор остается актуальной и опасной инфекцией во всем мире. Все больше работ посвящено появлению новых мутаций вируса гриппа, приводящих к резистентности ко многим используемым противовирусным химиотерапевтическим средствам. В настоящее время для терапии гриппозной инфекции широко применяются этиотропные препараты, относящиеся к трем классам: блокаторы М2-каналов (“Амантадин” и “Ремантадин”), ингибиторы нейраминидазы и ингибиторы РНК-полимеразы. “Амантадин” и “Ремантадин” в низких концентрациях взаимодействуют с участком на N-конце трансмембранного домена молекулы М2 белка и блокируют функцию протонного канала, препятствуя разборке вирусной частицы при эндоцитозе. При высоких концентрациях эти препараты ингибируют конформационные изменения в молекуле гемагглютинина, необходимые для слияния вирусной и эндосомальной мембран за счет повышения pH внутри эндосомы [1]. Ингибиторы нейраминидазы, осельтамивир фосфат (“Тамифлю”) и занамивир (“Реленза”), блокируют нейраминидазную активность, предотвращая выход и распространение вирусных частиц [2]. Ингибиторы полимеразы, рибавирин (“Виразол”/“Ребетол”) и балоксавир марбоксил (“Ксофлюза”), блокируют репликацию вируса, воздействуя на эндонуклеазную функцию полимеразного комплекса [3]. Однако высокая вариабельность генома вирусов гриппа дает им возможность приобретать резистентность к уже имеющимся препаратам. Так, все эпидемически актуальные штаммы вируса гриппа резистентны к блокаторам М2-канала, а в 2019 г. были зафиксированы случаи резистентности к балоксавиру марбоксилу, разрешенному для клинического применения в 2018 г. [4]. Кроме того, у этих препаратов есть и другие недостатки – это узкая специфичность, токсичность и высокая стоимость. Учитывая все вышеперечисленное, поиск и разработка новых и эффективных средств природного происхождения для терапии гриппозной инфекции являются актуальными.

Препараты на основе растительного сырья, издавна используемые человеком, не потеряли

своей актуальности и в настоящее время. Они широко используются в современной медицине наряду с синтетическими и имеют ряд преимуществ: низкая токсичность, высокая эффективность, широкий спектр действия. Очень велики возможности комплексного применения лекарственных средств растительного происхождения, т.к. лекарственные растения в своем большинстве совместимы между собой, и при сочетании лекарственных растений часто проявляется синергизм их действия.

В настоящее время широко исследуется противовирусная активность экстрактов и биологически активных веществ, полученных из лекарственных растений.

ЛЕКАРСТВЕННЫЕ РАСТЕНИЯ, ОБЛАДАЮЩИЕ ПРОТИВОГРИППОЗНОЙ АКТИВНОСТЬЮ

Вайда красильная (*Isatis indigotica* Fortune), лекарственное растение из семейства Крестоцветных (Brassicaceae), широко используется в традиционной китайской медицине. Листья (*Follium Isatidis*) и корень (*Radix Isatidis*) вайды применяют для профилактики и лечения различных воспалительных и инфекционных заболеваний (грипп, паротит, эпидемический энцефалит В, эпидемический миелит и др.). Алкалоиды индиготин и индирубин, присутствующие в этом растении, обладают гепатопротекторным, противомикробным и противоопухолевым действием [5]. Помимо алкалоидов *I. indigotica* содержит множество других классов соединений, таких как органические кислоты, лигнаны, нуклеозиды, стероиды и аминокислоты. Противогриппозными свойствами, в основном, обладают соединения, выделенные из корня вайды красильной: клемастанин В, эпигоитрин, индирубин и эруковая кислота. Клемастанин В *in vitro* ингибирует репродукцию разных подтипов вируса гриппа человека и птиц. Мишенью для этого соединения являются ранние стадии жизненного цикла вируса: эндоцитоз и “раздевание” вирусной частицы. Кроме того, было показано, что клемастанин В нарушает процесс ядерного экспорта вРНП (вирусного рибонуклеопротеина) в клетках, инфицированных вирусом гриппа A/PR/8/34 (H1N1), возможно за счет воздействия на отдельные компоненты сигнальных путей клетки хозяина [6]. Другое соединение, выделенное из вайды красильной, алкалоид эпигоитрин, приводит к невосприимчивости мышей к вирусу гриппа подтипа H1N1. Так, у животных, получавших это вещество в дозах 88 мг/кг и 176 мг/кг, отмечалось снижение смертности и титров вируса в легких. Механизм действия этого соединения заключается в его взаимодействии с компонентами противовирусного митохондриального пути. Эпигоитрин снижает экспрессию белка MFN-2 (митофузина-2) и увеличивает экспрессию MAVS (митохондриального противовирусного сигнального белка), что приводит к повышению продукции IFN-β (интерферона-β) и IFITM3 (интерферон-индуцируемого мембранного белка 3) [7]. Похожим механизмом действия обладает и другой алкалоид *I. indigotica*, индирубин [8]. Не менее интересно с фармакологической точки зрения еще одно вещество, содержащееся в корнях вайды – эруковая кислота. Ее противогриппозный эффект заключается в снижении транскрипционной активности вирусной РНК-полимеразы. Она также обладает противовоспалительным механизмом действия. Блокируя NF-ϰB и p38 MAPK- сигнальные пути за счет снижения транскрипционной активности ISGF-3 (IFN-стимулируемого генетического фактора 3 типа), эруковая кислота ингибирует синтез провоспалительных цитокинов IL-6 (интерлейкина-6), TNF-α (фактора некроза опухоли-α), IL-10 (интерлейкин-10), IL-8 (интерлейкина-8), MCP-1 (моноцитарного хемотаксического фактора-1), MCP-2 (моноцитарного хемотаксического фактора-2) и RANTES (цитокина, синтезируемого нормальными Т-лимфоцитами) в клетках, инфицированных вирусом гриппа. У животных, получавших это вещество, отмечали снижение вирусной нагрузки в легких и уменьшение миграции цитотоксических Т-лимфоцитов в очаг воспаления. Все это способствовало уменьшению очагов поражения в ткани легкого и увеличивало продолжительность жизни животных [9].

Растения рода Ладанник (*Cistus*) широко используются в традиционной медицине. Противовирусный эффект выявлен у богатого высокомолекулярными фенолами экстракта (CYSTUS052), полученного из растения ладанник серый (*Cistus* × *incanus* L. Pandalis). Главными компонентами CYSTUS052 являются флаван-3-олы и проантоцианидины, которые ингибируют репродукцию разных подтипов ви-

руса гриппа человека и птиц. Кроме того, его длительное применение не приводит к развитию резистентности вируса гриппа. Противовирусный эффект экстракта ладанника достигается за счет взаимодействия его полифенольных компонентов с поверхностью вирусной частицы, тем самым нарушая взаимодействие гемагглютинина с рецепторами на поверхности заражаемой клетки [10]. В экспериментах на мышах, инфицированных высокопатогенным вирусом птиц H7N7, было показано, что при аэрозольном введении CYSTUS052 у животных не регистрировали клинические симптомы и не наблюдали гистологические изменения в эпителиальных клетках бронхов [11]. Согласно результатам клинического исследования, прием препарата, содержащего этот экстракт ладанника, пациентами с заболеваниями верхних и нижних дыхательных путей, приводил к снижению продолжительности и тяжести заболевания [12].

Среди видов растительного сырья, богатого полифенольными соединениями, особый интерес представляет гранат обыкновенный (*Punica granatum* L.), который широко используется в традиционной медицине разных стран. Кожура плодов граната содержит множество различных флавоноидов, таких как кемпферол, кемпферолерол-3-О-глюкозид, эпикатехин, катехин, эпигаллокатехин-3-галлат, флаван-3-ол, кемпферол-3-О-рамногликозид, лютеолин 7-оглюкозид, лютеолин, наринген, пеларгонидин, продельфиндин, кверцетин и рутин. Все эти вторичные метаболиты обладают противоопухолевой, противовирусной, противовоспалительной, антибактериальной и антиоксидантной активностями. N-бутанольная и этилацетатная фракции спиртового экстракта кожуры граната подавляют репродукцию вируса гриппа А *in vitro* [13]. Кроме того, этот экстракт способен ингибировать гемагглютинин и репликацию вРНК (вирусной РНК) [14]. Максимальный противогриппозный эффект экстракта обеспечивается основным полифенольным соединением, содержащимся в кожуре граната, – пуникалагином [15]. Как показали дальнейшие исследования, это вещество нарушает процесс выхода зрелых вирусных частиц из клетки, посредством ингибирования нейраминидазы [16].

Шалфей обыкновенный (*Salvia plebeia* R.Br.), растение, относящееся к семейству Яснотковые (Lamiaceae), издавна используется в традиционной медицине для лечения простуды, гриппа, гепатита, кашля. Флавоноиды (гиспидулин, непетин, лютеолин) и метиловый эфир розмариновой кислоты, выделенные из надземной части шалфея, активно ингибируют нейраминидазу вируса гриппа [17].

Особый интерес вызывает ятрофа рассеченная (*Jatropha multifida* L.), относящаяся к семейству Молочайных (Euphorbiaceae), т.к. содержит дитерпеноиды и фенольные соединения. Корни и стебли ятрофы рассеченной обладают антибактериальным, противоопухолевым, противомалярийным, противолейшманиозным и противоязвенным действием. В экспериментах *in vitro* было показано, что максимальным вирусингибирующим действием в отношении вируса A/PR/8/34 (H1N1) обладали два экстракта корня *J. multifida* – водный и хлороформный, отличающиеся друг от друга механизмами действия. Водный экстракт корня ингибирует процесс прикрепления вирусной частицы к поверхности клетки, а хлороформный – репродукцию вируса внутри клетки [18]. Не менее интересно и другое растение, относящееся к этому роду – ятрофа куркас (*Jatropha curcas* L.). Было установлено, что водный и метаноловый экстракты листьев *J. curcas* способны ингибировать гемагглютинин вируса гриппа A/H1N1/PUNE/2009 [19].

Баланофора обвернутая (*Balanophora involucrata* Hook.f. et Thomson) широко применяется в китайской традиционной медицине. Кверцитрин и флоридизин, содержащиеся в этилацетатном экстракте этого растения, способны активно ингибировать нейраминидазу вируса гриппа [20].

Содержащий большое количество разнообразных фенольных соединений представитель семейства бобовые (Fabaceae) – аспалатус линейный (*Aspalathus linearis* (Burm.f.) R.Dahlgren) обладает противоопухолевым, противовирусным и антиоксидантным действием. Щелочной экстракт листьев A. *linearis* весьма эффективен в отношении различных подтипов вирусов гриппа А и вирусов гриппа В, в том числе и в отношении осельтамивирустойчивых штаммов, и ингибирует поздние стадии жизненного цикла вируса [21].

В работе Liang Y. et al. [23] изучали противогриппозную активность неочищенного

экстракта цветков купальницы китайской (*Trollius chinensis* Bunge), которая издавна используется в традиционной китайской медицине для лечения заболеваний верхних дыхательных путей, хронического тонзиллита и фарингита. Вирусингибирующее действие этого экстракта связано со снижением экспрессии TLR3 (Toll-подобного рецептора 3), TAK1 (киназы 1, активируемой трансформирующим фактором роста β), TBK1 (TANK-связывающей киназы) и IRF3 (регуляторного фактора интерферона 3) в легочной ткани мышей, инфицированных вирусом A/FM/1/47 (H1N1). В результате этого нарушается синтез IFN (интерферонов) I типа, провоспалительных цитокинов и хемокинов. Таким образом, экстракт цветков купальницы препятствует развитию такого серьезного осложнения, как пневмония [22]. Согласно результатам экспериментов *in vitro,* вератровая кислота, витексин и троллин, содержащиеся в цветках *T. chinensis*, ингибируют репродукцию вируса гриппа за счет воздействия на TLR3-, TLR7- и TLR4 – сигнальные пути. Вследствие этого снижается индуцируемая вирусом продукция NO (оксида азота), IL-6 и TNF-α и стимулируется синтез интерферонов I типа. Цитотоксические Т-лимфоциты и NK-клетки, активируемые IFN-β (интерфероном-β) в дальнейшем способствуют элиминации вируса [23].

Водные и спиртовые экстракты корней герани кроваво-красной (*Geraniun sanguineum* L.) используются в традиционной медицине для лечения желудочно-кишечных заболеваний, различных инфекций. Метанольный экстракт корней *G. sanguineum*, называемый полифенольным комплексом (ПК), активно ингибирует репликацию в культуре клеток вирусов гриппа A и B. Его интраназальное или аэрозольное применение снижало смертность у мышей, инфицированных вирусом гриппа A/Aichi/2/68 (H3N2). В результате фитохимического анализа в ПК были выявлены различные флавоноиды, катехины, галлотанины и фенолокислоты. Этот экстракт ингибирует синтез НА (гемагглютинина) и репликацию вРНК (вирусной РНК) в инфицированных вирусом клетках [24]. Апигенин, кверцетин–3-О–галактозид, (–)-катехин, (–)-эпикатехин, хлорогеновая и кофейные кислоты, содержащиеся в ПК, обладают выраженным противогриппозным эффектом [25]. Экстракту корней герани свойственна и антиоксидантная активность. Его применение значительно снижает уровни малонового диальдегида, основного маркера перокисного окисления липидов, в легких и печени инфицированных мышей [26].

Гераниин, основное биологически активное вещество, содержащееся в герани Турнберга (*Geranium thunbergii* Siebold et Zucc.), демонстрирует активность в отношении ВПГ (вируса простого герпеса), ВИЧ-1 (вирус иммунодефицита человека 1 типа), вируса денге 2 типа и энтеровируса человека 71. Спиртовой экстракт этого растения наряду с гераниином содержит такие соединения, как кемпферитрин, корилагин, эллаговую и галловую кислоты, кемпферол 7-О-рамнозид, кверцетин, протокатеховую кислоту и кемпферол. В культуре клеток подавляет репродукцию вирусов гриппа A и B. Механизм действия спиртового экстракта заключается в ингибировании нейраминидазы вируса [27].

Горец китайский (*Polygonum chinense* L.), относящийся к семейству Гречишные (Polygonaceae), широко используемый в странах Азии для лечения ряда заболеваний, обладает противовирусной активностью. Согласно результатам фитохимических исследований, это растение содержит терпеноиды, алкалоиды, флавоноиды, танины, стероиды и гликозиды. Так, кверцетин, эллаговая кислота, метилгаллат и кофейная кислота ингибируют репродукцию вирусов гриппа A и B в культуре клеток. Механизм действия кверцетина на сегодняшний день изучен достаточно хорошо. Он взаимодействует с одной из субъединиц гемагглютинина HA2 и блокирует присоединение вируса к поверхности клетки [28]. Эллаговая кислота и метилгаллат воздействуют на ранние стадии жизненного цикла вируса гриппа, а кофейная кислота ингибирует нейраминидазу даже осельтамивир-устойчивых штаммов [29].

С фармакологической точки зрения представляют интерес также растения, относящиеся к семейству Орхидные (Orchidaceae). Блетилла полосатая **(***Bletilla striata* (Thunb.) Rchb.f.) широко используется в традиционной китайской медицине благодаря своим противомикробным, антиоксидантным и противовоспалительным свойствам. Она содержит полисахариды, бибензил, производные фенантрена и дигидрофенантрена, флавоноиды и фенольные соединения. Производные фенантрена и ди-

гидрофенантрена 2,2',7'-тригидрокси-3',4,5',7-тетраметокси-9',10'-дигидро-1,1'-дифенантрен, 4,4',7,7'-тетрагидрокси-2,2',8,8'-тетраметокси-1,1'-дифенантрен, 4,4',7,7'-тетрагидрокси-2,2'-диметокси-1,1'-дифенантрен, 2-гидроксил-4,7-диметоксифенантрен, 2,2'-дигидроксил-4,4',7,7'-9',10'-дигидро-1,6'-дифенантрен, выделенные из этанолового экстракта ризомов орхидеи, ингибируют NA(нейраминидазу) и транскрипцию мРНК матриксного белка вируса. Соединение 2,7-дигидроксил-4-метокси-9,10-дигидрофенантрен имеет в качестве мишени только нейраминидазу, а 2,2',7'-тригидрокси-3',4,5',7-тетраметокси-9',10'-дигидро-1,1'-дифенантрен и 4,4',7-тригидрокси-2,2',7'-триметокси-1,1'-дифенантрен – матриксный белок [30].

Дендробиум благородный (*Dendrobium nobile* Lindl.) обладает широким спектром фармакологической активности, обусловленной содержанием в нем алкалоидов, сесквитерпеноидов, ароматических соединений и полифенолов. Среди такого большого количества различных биологических веществ большой интерес представляет алкалоид дендробин. Согласно результатам экспериментов *in vitro*, дендробин демонстрирует активность в отношении разных подтипов вируса гриппа А, в том числе и в отношении осельтамивир-устойчивого штамма. Дендробин блокирует ранние стадии вирусного жизненного цикла, он способен связываться с высококонсервативным участком NP (белка нуклеокапсида), ограничивая его ядерный экспорт и олигомеризацию, что приводит к нарушению процесса репликации в РНК [31].

Одуванчик лекарственный (*Taraxacum officinale* F.H.Wigg.) семейства Сложноцветные (Asteraceae) в традиционной медицине используется для лечения лимфаденита, гепатита, инфекций мочевыводящих путей, простуды и лихорадки. Противогриппозная активность его водного экстракта *in vitro* обеспечивается за счет ингибирования активности вирусной РНК-полимеразы [32].

Противогриппозной активностью обладает водный экстракт корней Пиона молочноцветкового (*Paeonia lactiflora* Pall.) из семейства Пионовые (Paeoniaceae). Он содержит три активных в отношении вируса гриппа соединения: галловую кислоту, метилгаллат и пентагаллоилглюкозу. Пентагаллоилглюкоза ингибирует и HA, и NA (нейраминидазу) вируса, а галловая кислота и метилгаллат только нейраминидазу [33].

Цезальпиния десятицветковая (*Caesalpinia decapetala* (Roth) Alston) содержит большое количество разнообразных биологически активных веществ: дитерпеноиды кассана, спатуленол, лупеол, ресвератрол, кверцетин, стигмастерол, астралагин и ситостерол. Экстракты цезальпинии обладают обезболивающим, антиоксидантным противоопухолевым и противовирусным действием. Согласно результатам экспериментов *in vitro*, этаноловый экстракт, полученный из стеблей и листьев *C. decapetala*, обладает активностью не только в отношении разных подтипов вируса гриппа человека, но также и в отношении вируса гриппа птиц. Механизм действия этого экстракта связан с ингибированием NA вируса. Экстракт защищает мышей от летальной гриппозной инфекции, снижает смертность, уменьшает вирусную нагрузку и очаги поражения в легких [34].

Коммелина обыкновенная или синеглазка (*Commelina communis* L.) – традиционное растение китайской медицины. Коммелина содержит алкалоиды, флавоноиды, полифенолы, полисахариды, стеролы и терпены. Противогриппозной активностью обладает алкалоид гомоноджиримицин [35]. В экспериментах на мышах было показано, что применение этого алкалоида в дозе 1 мг/кг снижало смертность и вирусную нагрузку в легких у животных, инфицированных вирусом гриппа A/PR/8/34 H1N1. Гомоноджиримицин предотвращает развитие воспаления в тканях легкого за счет снижения уровня TNF-α и IL-6. Кроме того, отмечается повышенная продукция INF-γ (интерферона-γ) и IL-10, необходимых для элиминации вируса из организма [36].

На сегодняшний день достаточно хорошо изучены противовирусные свойства растений рода Солодка (*Glycyrrhiza*). Основным вторичным метаболитом корня солодки является тритерпеновый гликозид глицирризин (глицирризиновая кислота). Он обладает противоопухолевым, антиоксидантным, противовоспалительным и противовирусным действием. Глицирризин активен в отношении герпес-, корона-, альфа- и флавивирусов, вируса иммунодефицита человека, вируса везикулярного стоматита, вируса полиомиелита I типа, вируса коровьей оспы и в отношении вируса гриппа А.

Противогриппозный эффект этого вторичного метаболита связан с продукцией IFN-γ Т-лимфоцитами [37]. Халконы эхинантин и изоликвиритигенин, выделенные из корня солодки гладкой (*Glycyrrhiza inflata* Batalin), активно ингибируют нейраминидазу вируса [38]. Похожим механизмом действия обладает глицирол, содержащийся в солодке уральской (*Glycyrrhiza uralensis* Fisch. ex DC.) [39]. Этанольный экстракт этого растения подавляет индуцируемый вирусом синтез хемокина RANTES/CCL5, предотвращая тем самым развитие воспалительной реакции в тканях легкого [40].

Водный экстракт растения бархат амурский (*Phellodendron amurense* Rupr.), используемый в китайской традиционной медицине, демонстрирует активность *in vitro* и *in vivo* в отношении разных подтипов вируса гриппа А. Этот экстракт стимулирует врожденный иммунный ответ за счет воздействия на компоненты двух сигнальных путей – интерферона I типа и NF-ϰB. Противогриппозные свойства корней бархата амурского связаны с алкалоидом берберином [41]. Механизм его действия на вирус гриппа изучен достаточно широко. Берберин ингибирует нейраминидазную активность вируса, уменьшает воспалительный ответ в легких за счет снижения продукции NO, TNF-α и MCP-1 [42]. Этот алкалоид может нарушать ядерный экспорт вирусного нуклеопротеина посредством блокирования MAPK/ERK – сигнального пути [43].

Моринга масличная (*Moringa oleifera* Lam.) содержит алкалоиды, флавоноиды, фенольные кислоты, изотиоцианаты и фенилкарбамат, которые обладают противомикробным, противовоспалительным, противоопухолевым и противовирусным действием. Экстракт листьев моринги активен в отношении вируса ветряной оспы, ВИЧ и вируса гепатита. Соединения Моринга А, глюкоморингин и витексин подавляют репродукцию вируса гриппа А подтипа H1N1 в культуре клеток. Их механизм действия связан со снижением уровня провоспалительных цитокинов TNF-α, IL-6 и IL-1β в клетках хозяина [44]. Кроме того, вещество Моринга А ингибирует экспрессию и перенос в ядро TFEB (фактора транскрипции клеточного белка ЕВ), что приводит к ослаблению аутофагии инфицированных клеток [45].

Канариум белый (*Canarium album* (Lour) Raeusch. ex DC.), относящийся к семейству Бурзеровые (Burseraceae), широко используется в традиционной китайской медицине для лечения респираторных заболеваний человека. Он содержит большое количество различных биологически активных веществ, обладающих противовоспалительным, антиоксидантным, противодиабетическим и противовирусным действием. Канаролеозиды B и C, мирицитин и кемпферол, содержащиеся в экстракте плодов *C. album*, ингибируют NA вируса гриппа, кверцетин – HA, а канаролеозид А – оба вирусных гликопротеина [46]. Изокорилагин блокирует выход зрелых вирусных частиц из клетки за счет взаимодействия с высококонсервативными аминокислотными остатками в молекуле нейраминидазы. Кроме того, он активен в отношении вирусов гриппа А, относящихся к разным подтипам [47]. Метилбревифолинкарбоксилат, содержащийся в этилацетатном экстракте плодов *C. album*, ингибирует активность РНК-полимеразы за счет взаимодействия с кэп-связывающим доменом белка PB2 [48]. Уролитин М5, полученный из неочищенного экстракта канариума, обладает активностью в отношении вирусов гриппа А подтипов H1N1, H3N2 и в отношении вирусов, устойчивых к осельтамивиру. Механизм его действия заключается в ингибировании NA. Применение уролитина М5 в дозе 200 мг/кг снижало смертность животных в опытной группе по сравнению с контролем, уменьшало вирусную нагрузку в легких и повреждение легочной ткани за счет понижения уровней экспрессии NF-ϰB, IL-6 и TNF-α [49].

Почки растения клейстокаликс покрытый (*Cleistocalyx operculatus* (Roxb.) Merr. et L. M. Perry), широко используемого в традиционной медицине стран Азии, содержат тритерпеноиды, флавоноиды и эфирные масла, обладающие антиоксидантным и противовоспалительным действием. (E)-4,2',4'-тригидрокси-6'-метокси-3',5'-диметилхалкон, 2',4'-дигидрокси-6'-метокси-3',5'-диметилхалкон, 2',4'-дигидрокси-3'-метил-6'-метоксихалкон и 2,2',4'-тригидрокси-6'-метокси-3',5'-диметилхалкон, полученные из метанолового экстракта почек, активно ингибируют нейраминидазу вирусов гриппа подтипов H1N1 и H9N2 [50]. Похожим механизмом действия обладает мири-

цетин-3',5'-диметиловый эфир 3-О-β-галактопиранозид, содержащийся в листьях этого растения [51].

Не вызывает сомнений противовирусная активность бузины черной (*Sambucus nigra* L.). В традиционной медицине широко используются цветки и плоды этого растения, содержащие флавоноиды, фенольные кислоты, катехины и проантоцианидины. Ягоды бузины обладают противовирусным, иммуномодулирующим действием, антиоксидантным, антибактериальным и противоопухолевым действием. Флавоноиды 5,7,3',4'-тетра-О-метилкверцетин и 7-дигидрокси-4-оксо-2-(3,4,5-тригидроксифенил) хроман-3-ил-3,4,5-тригидроксициклогексан карбоксилат, содержащиеся в экстракте плодов, за счет прямого взаимодействия с частицами вируса гриппа подтипа H1N1, нарушают процесс проникновения в клетку [52]. Высокие дозы водного экстракта влияют на проникновение, сборку и “почкование” вирусных частиц за счет ингибирования взаимодействия НА с липидными рафтами мембраны хозяйской клетки [53]. Природный цианидин-3-самбубиозид, содержащийся в этом растении, блокирует нейраминидазу вируса за счет взаимодействия с определенными аминокислотными остатками ее активного центра (356–364 а.о. и 395–432 а.о) [54]. Фракции, полученные из сока ягод бузины, при пероральном введении уменьшали вирусную нагрузку в легких мышей, инфицированных вирусом, а также увеличивали уровень нейтрализующих антител и Ig A (иммуноглобулина А) в сыворотке крови и в жидкости бронхоальвеолярного лаважа [55]. Кроме того, экстракт плодов значительно увеличивал продукцию провоспалительных цитокинов IL-6, IL-8 и TNF-α [56]. Клинические исследования показали эффективность сиропа на основе сока плодов бузины [57].

Коптис китайский (*Coptis chinensis* Franch.) из семейства Лютиковые (Ranunculaceae) издавна использовался в традиционной китайской медицине. Вместе с корой магнолии лекарственной (*Magnolia officinalis* Rehder et E.H. Wilson) *в*ходил в состав лекарственного сбора, предназначенного для терапии сезонных простуд и гриппа. Корневища коптиса содержат большое количество изохинолинового алкалоида берберина. В экспериментах in vitro показано, что берберин ингибирует ЦПД (цитопатогенное действие) и нейраминидазную активность вируса гриппа А H1N1. В опытах *in vivo* применение этого вещества приводило к снижению смертности и вирусной нагрузки в легких в опытной группе по сравнению с контролем. Отсутствие повреждений в органе-мишени на 2, 4 и 6 сутки после заражения вирусом связано со снижением продукции NO и подавлением транскрипции и экспрессии двух цитокинов TNF-α, MCP-1 [42]. Кроме того, риск развития вирусной пневмонии уменьшается благодаря тому, что этот изохинолиновый алкалоид супрессирует TLR7 – сигнальный путь [58]. Механизм действия берберина связан также с ингибированием MAPK/ERK – сигнального пути, что приводит к нарушению экспорта вРНП из ядра в цитоплазму [43]. Кроме того, это вещество обладает антиоксидантным действием. Берберин блокирует NLRP3 (белок Nod-подобного рецептора 3) активацию инфламмасомы в макрофагах, инфицированных вирусом гриппа, посредством стимулирования митофагии и снижения уровня активных форм кислорода в митохондриях [59].

Лаггера птеродонта **(***Laggera pterodonta* (DC.) Sch.Bip. ex Oliv.), растение, широко используемое в традиционной китайской медицине для лечения гриппа, фаринголарингита и бронхита. Три дикаффеоилхиновые кислоты, содержащиеся в водном экстракте этого растения, обладали активностью в культуре клеток в отношении ВПГ-1, ВПГ-2 и вируса гриппа А [60]. Сесквитерпеновая фракция *L. pterodonta in vitro* ингибировала репродукцию вируса гриппа на ранних стадиях жизненного цикла. Механизм действия тестируемого вещества связан с нарушением процесса фосфорилирования p65/NF-ϰB и p38/MAPK, что приводит к снижению экспрессии цитокинов и хемокинов (TNF-α, IL-8, IP-10, MIG, MIP-1α, IFN-α, IL-6, MCP-1 и RANTES), участвующих в развитии воспаления в легочной ткани [61]. Guan W. et al. [62] изучали активность основного сексвитерпена, содержащегося в *L. pterodonta*, – птеродонтовой кислоты. В результате этих исследований было показано, что птеродонтовая кислота нарушает процесс экспорта вРНП из ядра в цитоплазму и уменьшает воспалительный ответ за счет ингибирования NF-ϰB сигнального пути [62]. Возможными мишенями для этой кислоты также могут выступать все три белка полимеразного комплекса вируса

(PB1, PB2 и PA), NP, неструктурный белок NS и матриксный протеин M. В дозе 100 мкг/мл птеродонтовая кислота снижает экспрессию RIG-1 (гена 1, индуцируемого ретиноевой кислотой), блокируя тем самым NF-κB-сигнальный путь. Противовоспалительный механизм действия этого вещества обеспечивается за счет ингибирования экспрессии STAT-1 (преобразователя сигнала и активатора транскрипции 1), IFN-α/β и PD-L1 (лиганда программируемой смерти 1), PD-L2 (лиганда программируемой смерти 2). Нарушение ядерного экспорта вРНП связано с тем, что птеродонтовая кислота блокирует TRAIL/FasL – стимулируемую активацию каспаз [63]. Активный компонент *L. pterodonta* C8, содержащий птеродонтовую кислоту, и птеродондиол, обладает широким спектром действия в отношении разных подтипов вируса гриппа A и уменьшает воспалительный ответ на инфекцию. Снижение выработки провоспалительных цитокинов связано с воздействием на TLR7 – сигнальный путь посредством ингибирования экспрессии TLR7, MyD88 и TRAF6 (фактора 6, ассоциированного с рецептором TNF). Кроме того, птеродонтовая кислота и птеродондиол нарушают процессы фосфорилирования и транслокации p65 (субъединицы NF-κB) в ядро, что также способствует уменьшению воспалительной реакции [64].

Шлемник байкальский (*Scutellaria baicalensis* Georgi), широко используемый в китайской медицине, обладает жаропонижающим, противоопухолевым, противовоспалительным, противобактериальным и противовирусным действием. Основными биологически активными компонентами шлемника байкальского являются байкалин, байкалеин, вогонин, вогонин 7-O-глюкуронид, ороксилин A, ороксилин A 7-O-глюкуронид, апигенин и хризин. Байкалин и байкалеин ингибируют репликацию вирусов парагриппа, ВИЧ-1, гепатита B и коронавируса SARS (тяжелого острого респираторного синдрома). Этилацетатный и хлороформный экстракты шлемника *in vitro* ингибируют нейраминидазу вируса гриппа A. Согласно результатам хроматографического анализа, в этих экстрактах преобладают байкалеин и хризин. Механизм действия байкалеина заключается во взаимодействии с аминокислотными остатками в положениях 222, 224, 246 и 347 в активном участке NA1 [65]. Другой активный флавоноид, байкалин, может ингибировать репродукцию вируса гриппа A/PR/8/34 (H1N1) за счет стимулирования продукции IFN-γ $CD4^+$, $CD8^+$ – Т лимфоцитами и NK-клетками [66]. Его мишенью является нейраминидаза [67]. Следует отметить, что байкалин обладает еще одним противовирусным механизмом. Он может блокировать аутофагию, индуцированную вирусом гриппа [68]. Флавоноид вогонин обладает противовирусной активностью как в отношении вируса гриппа A, так и вируса гриппа B. В дозе 10 мкг/мл он стимулирует синтез IFN-β и IFN-γ и, как следствие из этого, продукцию MxA (белка устойчивости к миксовирусу) и OAS (олигоаденилат синтазы) в инфицированных клетках. Помимо этого, вогонин может ингибировать репродукцию вируса в культуре клеток за счет нарушения процесса фосфорилирования AMPK (5'АМФ-активируемой протеинкиназы), ключевого регулятора липидного и углеводного обмена [69]. Показано, что экстракт и содержащиеся в нем байкалеин, ороксилин A, вогонин и хризин активно ингибируют вирус гриппа H1N1 в культуре клеток MDCK и продукцию NO ЛПСстимулируемыми клетками RAW264.7. Применение обогащенного флавоноидами экстракта значительно снижало смертность животных, а также уменьшало вирусную нагрузку в легочной ткани. Одновременно с этим в легких животных, получавших экстракт, регистрировали снижение уровня TNF-α, IL-6, MCP-1 и увеличение уровней IFN-γ и IL-10 [70].

Вся информация об активных компонентах лекарственных растений, обладающих противогриппозной активностью, представлена в таблице (табл. 1).

Анализ представленных в обзоре научных данных показал, что лекарственные и дикорастущие растения, применяемые в традиционной медицине ряда стран, содержат соединения, обладающие активностью в отношении вирусов гриппа. Механизм их действия весьма разнообразен: от ингибирования гемагглютинина, нейраминидазы и белков полимеразного комплекса вируса до воздействия на сигнальные пути клетки и их компоненты, активно используемые вирусом на разных этапах своего жизненного цикла. Полученные сведения могут лежать в основе поиска и разработки новых противовирусных средств.

Таблица 1. Перечень биологически активных компонентов лекарственных растений, обладающих противогриппозной активностью
Table1. List of biologically active components of medicinal plants with anti-influenza activity

Природный источник Natural source	Основные компоненты Major constituents	Механизмы действия Mechanisms of action	Литературные источники References
Isatis indigotica	Клемастанин В Clemastanin B	Влияет на эндоцитоз и раздевание вирусной частицы, нарушает процесс ядерного экспорта вРНП Affects endocytosis and uncoating of the viral particle, disrupts the process of nuclear export of vRNPs	[6]
	Эпигоитрин, индирубин Epigoitrin, indirubin	Снижает экспрессию белка MFN-2 и увеличивает экспрессию MAVS Decreases MFN-2 protein expression and increases MAVS expression	[7, 8]
	Эруковая кислота Erucic acid	Снижает транскрипционную активность вирусной РНК-полимеразы, транскрипционную активность ISGF-3 и ингибирует синтез провоспалительных цитокинов IL-6, TNF-α, IL-10, IL-8, MCP-1, MCP-2 и RANTES Reduces the transcriptional activity of viral RNA polymerase, the transcriptional activity of ISGF-3 and inhibits the synthesis of pro-inflammatory cytokines IL-6, TNF-α, IL-10, IL-8, MCP-1, MCP-2 and RANTES	[9]
Cistus incanus	CYSTUS052	Нарушает взаимодействие гемагглютинина с рецепторами на поверхности клетки хозяина Disrupts the interaction of hemagglutinin with receptors on the host cell surface	[10]
Punica granatum	Спиртовой экстракт (пуникалагин) Alcohol extract (Punicalagin)	Ингибирует HA и репликацию вирусной РНК Inhibits HA and replication of viral RNA	[14, 15]
	Пуникалагин Punicalagin	Ингибирует NA Inhibits NA	[16]
Salvia plebeia	Гиспидулин, непетин, лютеолин, метиловый эфир розмариновой кислоты Hispidulin, nepetin, luteolin, rosmarinic acid methyl ester	Ингибируют NA Inhibit NA	[17]
Jatropha multifida	Водный экстракт корня Aqueous root extract	Ингибирует прикрепление вирусной частицы к поверхности хозяйской клетки Inhibits the attachment of the viral particle to the surface of the host cell	[18]
	Хлороформный экстракт корня Chloroform root extract	Ингибирует репродукцию вируса внутри клетки Inhibits viral replication in host cell	[18]
Jatropha curcas	Водный и метаноловый экстракт листьев Aqueous and methanol leaf extracts	Ингибирует HA Inhibits HA	[19]
Balanophora involucrata	Кверцитрин и флоридизин Quercitrin and floridizine	Ингибируют NA Inhibit NA	[20]

Таблица 1. Продолжение

Aspalathus linearis	Щелочной экстракт Alkaline extract	Ингибирует поздние стадии жизненного цикла вируса Inhibits late stages of the virus life cycle	[21]
Trollius chinensis	Неочищенный экстракт цветков Crude flower extract	Снижает экспрессию TLR3, TAK1, TBK1 и IRF3 Reduces the expression of TLR3, TAK1, TBK1 and IRF3	[22]
	Вератровая кислота, витексин, троллин Veratric acid, vitexin, trollin	Снижают продукцию NO, IL-6 и TNF-α, стимулируют синтез интерферонов I типа Reduce the production of NO, IL-6 and TNF-α, stimulate the synthesis of type I interferons	[23]
Geraniun sanguineum	Полифенольный комплекс (апигенин, кверцетин –3-O-галактозид, (-)-катехин, (-)-эпикатехин, хлорогеновая и кофейные кислоты) Polyphenolic complex (apigenin, quercetin – 3-O-galactoside, (-)-catechin, (-)-epicatechin, chlorogenic and caffeic acids)	Ингибирует синтез HA и репликацию вРНК Inhibits HA synthesis and vRNA replication	[24, 25]
Geranium thunbergii	Спиртовой экстракт Alcohol extract	Ингибирует NA Inhibits NA	[27]
Polygonum chinense	*Кверцетин* Quercetin	Блокирует присоединение вируса к поверхности клетки Blocks virus attachment to the cell surface	[28]
	Эллаговая кислота, метилгаллат Ellagic acid, methyl gallate	Ингибируют вирус на ранних стадиях жизненного цикла Inhibit the virus at early stages of its life cycle	[29]
	Кофейная кислота Caffeic acid	Ингибирует NA Inhibits NA	[29]
Bletilla striata	2,2',7'-тригидрокси-3',4,5',7-тетраметокси-9',10'-дигидро-1,1'-дифенантрен, 4,4',7,7'-тетрагидрокси-2,2',8,8'-тетраметокси-1,1'-дифенантрен, 4,4',7,7'-тетрагидрокси-2,2'-диметокси-1,1'-дифенантрен, 2-гидроксил-4,7-диметоксифенантрен, 2,2'-дигидроксил-4,4',7,7'-9',10'-дигидро-1,6'-дифенантрен 2,2',7'-trihydroxy-3',4,5',7-tetramethoxy-9',10'-dihydro-1,1'-diphenanthrene, 4,4',7,7'-tetrahydroxy-2,2',8,8'-tetramethoxy-1,1'-diphenanthrene, 4,4',7,7'-tetrahydroxy-2,2'-dimethoxy-1,1'-diphenanthrene, 2-hydroxyl-4,7-dimethoxyphenanthrene, 2,2'-dyhydroxyl-4,4',7,7'-9',10'-dihydro-1,6'-diphenanthrene	Ингибируют NA и транскрипцию мРНК матриксного белка вируса Inhibit NA and transcription of virus matrix protein mRNA	[30]

Таблица 1. Продолжение

	2,7-дигидроксил-4-метокси-9,10-дигидрофенантрен 2,7-dyhydroxyl-4-methoxy-9,10-dihydrophenanthrene	Ингибирует NA Inhibits NA	[30]
	2,2,7'-тригидрокси-4,4',7-триметокси-9',10'-дигидро-1,1'-дифенантрен, 4,4',7-тригидрокси-2,2',7'-триметокси-1,1'-дифенантрен 2,2,7'-trihydroxy-4,4',7-trimethoxy-9',10'-dihydro-1,1'-diphenanthrene, 4,4',7-trihydroxy-2,2',7'-trimethoxy-1,1'-diphenanthrene	Ингибируют транскрипцию мРНК матриксного белка вируса Inhibit transcription of virus matrix protein mRNA	[30]
Dendrobium nobile	Дендробин Dendrobin	Ограничивает ядерный экспорт и олигомеризацию белка NP Restricts nuclear export of NP and its oligomerization	[31]
Taraxacum officinale	Водный экстракт Aqueous extract	Ингибирует активность РНК-полимеразы вируса Inhibits the activity of viral RNA polimerase	[32]
Paeonia lactiflora	Пентагаллоилглюкоза Pentagalloylglucose	Ингибирует HA и NA Inhibits HA and NA	[33]
	Галловая кислота и метилгаллат Gallic acid and methyl gallate	Ингибирует NA Inhibit NA	[33]
Caesalpinia decapetala	Этаноловый экстракт Ethanol extract	Ингибирует NA Inhibits NA	[34]
Commelina communis	Гомоноджиримицин Homonojirimycin	Снижает уровни TNF-α и IL-6, повышает продукцию INF-γ и IL-10 Decreases TNF-α and IL-6 levels, increases the production of INF-γ and IL-10	[36]
Glycyrrhiza inflata	Эхинантин и изоликвиритигенин Echinanthine and isoliquiritigenin	Ингибирует NA Inhibits NA	[38]
Glycyrrhiza uralensis	Глицерол Glycerolum	Ингибирует NA Inhibits NA	[39]
	Этанольный экстракт Ethanol extract	Подавляет синтез RANTES/CCL5 Inhibits the synthesis RANTES/CCL5	[40]
Phellodendron amurense	Берберин Berberine	Ингибирует NA, снижает продукцию NO, TNF-α и MCP-1, блокирует MAPK/ERK – сигнальный путь и нарушает ядерный экспорт вирусного нуклепротеина Inhibits NA, reduces the production of NO, TNF-α and MCP-1, blocks MAPK/ERK signaling pathway and disrupts nuclear export of the viral nucleoprotein	[42, 43]

Таблица 1. Продолжение

Moringa oleifera	Моринга А, глюкоморингин и витексин Moringa A, glucomoringin and vitexin	Снижают уровни провоспалительных цитокинов TNF-α, IL-6 и IL-1β Reduce the levels of pro-inflammatory cytokines TNF-α, IL-6 and IL-1β	[44]
	Моринга А Moringa A	Ингибирует экспрессию и перенос в ядро TFEB Inhibits expression of TFEB and its transport to the nucleus	[45]
Canarium album	Канаролеозиды B и C, мирицетин и кемпферол Canaroleosides B and C, myricetin and kaempferol	Ингибируют NA Inhibit NA	[46]
	Кверцетин Quercetin	Ингибирует HA Inhibits HA	[46]
	Канаролеозид А Canaryleoside A	Ингибирует HA и NA Inhibits HA and NA	[46]
	Изокорилагин Isocorylagin	Блокирует выход зрелых вирусных частиц, ингибирует активность NA Blocks the release of mature viral particles, inhibits NA activity	[47]
	Метилбревифолинкарбоксилат Methyl brevifolincarboxylate	Ингибирует кэп-связывающий домен PB2 Inhibits the PB2 cap-binding domain	[48]
	Уролитин M5 Urolithin M5	Ингибирует NA, понижает уровни экспрессии NF-ϰB, IL-6 и TNF-α Inhibits NA, decreases expression levels of NF-ϰB, IL-6 and TNF-α	[49]
Cleistocalyx operculatus	(E)-4,2',4'-тригидрокси-6'-метокси-3',5'-диметилхалкон, 2',4'-дигидрокси-6'-метокси-3',5'-диметилхалкон, 2',4'-дигидрокси-3'-метил-6'-метоксихалкон и 2,2',4'-тригидрокси-6'-метокси-3',5'-диметилхалкон (E)-4,2',4'-trihydroxy-6'-methoxy-3',5'-dimethylchalcone, 2',4'-dihydroxy-6'-methoxy-3',5'-dimethylchalcone, 2',4'-dihydroxy-3'-methyl-6'-methoxychalcone and 2,2',4'-trihydroxy-6'-methoxy-3',5'-dimethylchalcone	Ингибируют NA Inhibit NA	[50]
	Мирицетин-3',5'-диметиловый эфир 3-O-β-галактопиранозид Myricetin-3',5'-dimethyl ester 3-O-β-galactopyranoside	Ингибирует NA Inhibits NA	[51]

Таблица 1. Продолжение

Sambucus nigra	5,7,3',4'-тетра-О-метилкверцетин и 7-дигидрокси-4-оксо-2-(3,4,5-тригидроксифенил)хроман-3-ил-3,4,5-тригидроксициклогексан карбоксилат 5,7,3',4'-tetra-O-methylquercetin and 7-dihydroxy-4-oxo-2-(3,4,5-trihydroxyphenyl)chroman-3-yl-3,4,5-trihydroxycyclohexanecarboxylate	Блокируют проникновение вируса в клетку хозяина Block virus entry into host cell	[52]
	Водный экстракт плодов Aqueous fruit extract	Ингибирует взаимодействие НА с липидными рафтами мембраны хозяйской клетки Inhibits the interaction of HA with lipid rats of the host cell membrane	[53]
	Цианидин-3-самбубиозид Cyanidin-3-sambubiocide	Ингибирует NA Inhibits NA	[54]
	Фракции из сока ягод Berry juice fractions	Увеличивает уровень нейтрализующих антител и секреторного Ig A Increases the level of neutralizing antibodies and the level of secretory Ig A	[55]
	Экстракт плодов Fruit extract	Увеличивает продукцию провоспалительных цитокинов IL-6, IL-8 и TNF-α Increases the production of pro-inflammatory cytokines IL-6, IL-8 and TNF-α	[56]
Coptis chinensis	Берберин Berberine	Ингибирует ЦПД и нейраминидазную активность вируса, снижает продукцию NO и подавляет транскрипцию и экспрессию TNF-α, MCP-1, супрессирует TLR7 – сигнальный путь, ингибирует MAPK/ERK – сигнальный путь Inhibits CPE and neuraminidase activity of the virus, reduces NO production and suppresses the transcription and expression of TNF-α, MCP-1, suppresses TLR7 signaling pathway, inhibits MAPK/ERK signaling pathway	[42, 43,58]
Laggera pterodonta	Сесквитерпеновая фракция Sesquiterpene fraction	Снижает экспрессию TNF-*α*, IL-8, IP-10, MIG, MIP-1*α*, IFN-*α*, IL-6, MCP-1 и RANTES Ингибирует фосфорилирование p65/NF-*ϰ*B и p38/MAPK Reduces the expression of TNF-α, IL-8, IP-10, MIG, MIP-1α, IFN-α, IL-6, MCP-1 and RANTES Inhibits p65/NF-*ϰ*B and p38/MAPK phosphorylation	[61]
	Птеродонтовая кислота Pterodontic acid	Ингибирует NF-*ϰ*B-сигнальный путь и нарушает ядерный экспорт вРНП Inhibits the NF-*ϰ*B-signaling pathway and disrupts nuclear export of vRNP	[62, 63]
	Компонент С8 (птеродонтовая кислота и птеродондиол) Component C8 (pterodontic acid and pterodondiol)	Ингибирует экспрессию TLR7, MyD88 и TRAF6 и снижает выработку провоспалительных цитокинов Inhibits the expression of TLR7, MyD88 and TRAF6 and reduces the production of pro-inflammatory cytokines	[64]

Таблица 1. Окончание

Scutellaria baicalensis	Байкалеин Baicalein	Ингибирует NA Inhibits NA	[65]
	Байкалин Baicalin	Ингибирует NA, стимулирует выработку IFNγ $CD4^+$, $CD8^+$-Т лимфоцитами и NK-клетками, ингибирует аутофагию Inhibits NA, stimulates the production of IFNγ by $CD4^+$, $CD8^+$-T lymphocytes and NK cells, inhibits autophagy	[66, 67, 68]
	Вогонин Wogonin	Стимулирует синтез IFN-β и IFN-γ, нарушает процесс фосфорилирования AMPK Stimulates the synthesis of IFN-β and IFN-γ, disrupts the process of AMPK phosphorylation	[69]

Примечание. вРНП – вирусный рибонуклеопротеин, MFN-2 – митофузин-2, MAVS – митохондриальный противовирусный сигнальный белок, ISGF-3 – интерферон-стимулируемый генетический фактор 3 типа, IL – интерлейкин, TNF-α – фактор некроза опухоли α, MCP-1 – моноцитарный хемотаксический фактор-1, MCP-2 – моноцитарный хемотаксический фактор-2, RANTES – цитокин, синтезируемый нормальными Т-лимфоцитами, HA – гемагглютинин, NA – нейраминидаза, TLR – Toll-подобные рецепторы, TAK1 – киназа 1, активируемая трансформирующим фактором роста β, TBK1 – TANKсвязывающая киназа 1, NO – оксид азота, NP – нуклеопротеин, INF – интерферон, TFEB – транскрипционный фактор EB, Ig – иммуноглобулин, ЦПД – цитопатогенное действие, IP-10 – INF-γ-индуцируемый белок 10, MIG – монокин, индуцируемый IFN-γ, MIP-1α – воспалительный белок макрофагов- 1α, MyD88 – миелоидный фактор дифференциации 88, TRAF6 – фактор 6, ассоциированный с рецептором TNF, AMPK – 5'АМФ-активируемая протеинкиназа.

Notes. vRNP – viral ribonucleoprotein, MFN-2 – mitofunsin-2, MAVS – mitochondrial antiviral-signaling protein, ISGF-3 – Interferon-stimulated gene factor 3, IL – interleukin, TNF-α – tumor necrosis factor α, MCP-1 – monocyte chemotactic protein-1, MCP-2 – monocyte chemotactic protein-2, RANTES – regulated on activation, normal T cell expressed and secreted, NA – neuraminidase, TLR – Toll-like receptors, TAK1 – transforming growth factor β-activated kinase, TBK1 – TANK-binding kinase 1, NO – nitric oxide, HA – hemagglutinin, NP – nucleoprotein, INF – interferon, TFEB – transcription factor EB, Ig – immunoglobulin, CPE – cytopathic effect, IP-10 – IFN-γ-induced protein 10, MIG – monokine induced by IFN-γ, MIP-1α – macrophage inflammatory protein-1α, MyD88 – myeloid differentiation factor 88, TRAF6 – TNF receptor associated factor 6, AMPK – 5'AMP-activated protein kinase.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ
см. REFERENCES

Anti-Influenza Activity of Compounds Derived from Medicinal Plants (Part I)

V. A. Fedorova*, K. V. Sivak, K. I. Stosman

Smorodintsev Research Institute of Influenza of the Ministry of Health of the Russian Federation, St. Petersburg, Russia

**e-mail: vikusik_bio_24@mail.ru*

Abstract – This review (I part) presents an analysis of publications devoted to the ant-viral antiinfluenza activity of medicinal plants. It has shown that 63 species are found to be promising sources for obtaining anti-influenza drugs. Their roots, stems, leaves and fruits contain different chemical compounds inhibiting reproduction of influenza virus, both *in vitro* and *in vivo*. These compounds have different mechanisms of action. Some of them act upon components of the viral particle, others upon signaling pathways in the host cells. The first part of our review focuses on 28 species.

Keywords: medicinal plants, plant extracts, influenza viruses, antiviral activity

REFERENCES

1. *Gasparini R., Amicizia D., Lai P.L., Bragazzi N.L., Panatto D.* 2014. Compounds with anti-influenza activity: present and future of strategies for the optimal treatment and management of influenza. Part I: Influenza life-cycle and currently available drugs. – J. Prev. Med. Hyg. 55(3): 69–85. https://doi.org/10.15167/2421-4248/jpmh2014.55.3.432
2. *Gubareva L.V., Kaiser L., Hayden F.G.* 2000. Influenza virus neuraminidase inhibitors. – Lancet. 355(9206): 827–835. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(99)11433-8

3. *Yang T.* 2019. Baloxavir Marboxil: The first cap-dependent endonuclease inhibitor for the treatment of influenza. – Ann. Pharmacother. 53(7): 754–759. https://doi.org/10.1177/1060028019826565
4. *Uehara T., Hayden F.G., Kawaguchi K., Omoto S., Hurt A.C., De Jong M.D., Hirotsu N., Sugaya N., Lee N., Baba K., Shishido T., Tsuchiya K., Portsmouth S., Kida H.* 2020. Treatment-emergent influenza variant viruses with reduced baloxavir susceptibility: impact on clinical and virologic outcomes in uncomplicated influenza. – J. Infect. Dis. 221(3): 346–355. https://doi.org/10.1093/infdis/jiz244
5. *Chen Q., Lan H.Y., Peng W., Rahman K., Liu Q.C., Luan X., Zhang H.* 2021. *Isatis indigotica*: a review of phytochemistry, pharmacological activities and clinical applications. – J. Pharm. Pharmacol. 73(9): 1137–1150. https://doi.org/10.1093/jpp/rgab014
6. *Yang Z., Wang Y., Zheng Z., Zhao S., Zhao J., Lin Q., et al.* 2013. Antiviral activity of *Isatis indigotica* root-derived clemastanin B against human and avian influenza A and B viruses *in vitro*. – Int. J. Mol. Med. 31(4): 867–873. https://doi.org/10.3892/ijmm.2013.1274
7. *Luo Z., Liu L.F., Wang X.H., Li W., Jie C., Chen H., et al.* 2019. Epigoitrin, an alkaloid from *Isatis indigotica*, reduces H1N1 infection in stress-induced susceptible model *in vivo* and *in vitro*. – Front. Pharmacol. 10: 78. https://doi.org/10.3389/fphar.2019.00078
8. *Jie C., Luo Z., Chen H., Wang M., Yan C., Mao Z.F., et al.* 2017. Indirubin, a bisindole alkaloid from *Isatis indigotica*, reduces H1N1 susceptibility in stressed mice by regulating MAVS signaling. – Oncotarget. 8(62): 105615–105629. https://doi.org/10.18632/oncotarget.22350
9. *Liang X., Huang Y., Pan X., Hao Y., Chen X., Jiang H., et al.* 2020. Erucic acid from *Isatis indigotica* Fort. suppresses influenza A virus replication and inflammation *in vitro* and in *vivo* through modulation of NF-κB and p38 MAPK pathway. – J. Pharm. Anal. 10(2): 130–146. https://doi.org/10.1016/j.jpha.2019.09.005
10. *Ehrhardt C., Hrincius E.R., Korte V., Mazur I., Droebner K., Poetter A, et al.* 2007. A polyphenol rich plant extract, CYSTUS052, exerts anti influenza virus activity in cell culture without toxic side effects or the tendency to induce viral resistance. – Antiviral Res. 76(1): 38–47. https://doi.org/10.1016/j.antiviral.2007.05.002
11. *Droebner K., Ehrhardt C., Poetter A., Ludwig S., Planz O.* 2007. CYSTUS052, a polyphenol-rich plant extract, exerts anti-influenza virus activity in mice. – Antiviral Res. 76(1): 1–10. https://doi.org/10.1016/j.antiviral.2007.04.001
12. *Kalus U., Grigorov A., Kadecki O., Jansen J.P., Kiesewetter H., Radtke H.* 2009. *Cistus incanus* (CYSTUS052) for treating patients with infection of the upper respiratory tract. A prospective, randomised, placebo-controlled clinical study. – Antiviral Res. 84(3): 267–271. https://doi.org/10.1016/j.antiviral.2009.10.001
13. *Moradi M.T., Karimi A., Shahrani M., Hashemi L., Ghaffari-Goosheh M.S.* 2019. Anti-Influenza Virus Activity and Phenolic Content of Pomegranate (*Punica granatum* L.) Peel Extract and Fractions. – Avicenna J. Med. Biotechnol. 11(4): 285–291. https://www.ajmb.org/Article?id=10395
14. *Moradi M.T., Karimi A., Rafieian-Kopaei M., Rabiei-Faradonbeh M., Momtaz H.* 2020. Pomegranate peel extract inhibits internalization and replication of the influenza virus: An *in vitro* study. – Avicenna J. Phytomed. 10(2): 143–151. https://doi.org/10.22038/ajp.2019.13855
15. *Haidari M., Ali M., Ward Casscells S.W., Madjid M.* 2009. Pomegranate (*Punica granatum*) purified polyphenol extract inhibits influenza virus and has a synergistic effect with oseltamivir. – Phytomedicine. 16(12): 1127–1136. https://doi.org/10.1016/j.phymed.2009.06.002
16. *Li P., Du R., Chen Z., Wang Y., Zhan P., Liu X., et al.* 2021. Punicalagin is a neuraminidase inhibitor of influenza viruses. – J. Med. Virol. 93(6): 3465–3472. https://doi.org/10.1002/jmv.26449
17. *Bang S., Ha T.K.Q., Lee C., Li W., Oh W.K., Shim S.H.* 2016. Antiviral activities of compounds from aerial parts of *Salvia plebeia* R. Br. – J. Ethnopharmacol. 192: 398–405. https://doi.org/10.1016/j.jep.2016.09.030
18. *Shoji M., Woo S.Y., Masuda A., Win N.N., Ngwe H., Takahashi E., et al.* 2017. Anti-influenza virus activity of extracts from the stems of *Jatropha multifida* Linn. collected in Myanmar. – BMC Complement. Altern. Med. 17: 96. https://doi.org/10.1186/s12906-017-1612-8
19. *Patil D., Roy S., Dahake R., Rajopadhye S., Kothari S., Deshmukh R., Chowdhary A.* 2013. Evaluation of *Jatropha curcas* Linn. leaf extracts for its cytotoxicity and potential to inhibit hemagglutinin protein of influenza virus. – Indian J. Virol. 24(2): 220–226. https://doi.org/10.1007/s13337-013-0154-z

20. *Sun X., Zhang L., Cao Y., Li J., Atanasov A.G., Huang L.* 2020. Anti-neuraminidase activity of chemical constituents of *Balanophora involucrata*. – Biomed. Chromatogr. 34(12): e4949. https://doi.org/10.1002/bmc.4949
21. *Rahmasaria R., Haruyama T., Charyasriwong S., Nishida T., Kobayashi N.* 2017. Antiviral Activity of *Aspalathus linearis* against human influenza virus. – Nat. Prod. Commun. 12(4): 599–602. https://doi.org/10.1177/1934578X1701200432
22. *Liang Y., Liu X., Hu J., Huang S., Ma X., Liu X., et al.* 2023. The crude extract from the flowers of *Trollius chinensis* Bunge exerts anti-influenza virus effects through modulation of the TLR3 signaling pathway. – J. Ethnopharmacol. 300: 115743. https://doi.org/10.1016/j.jep.2022.115743
23. *Shi D., Chen M., Liu L., Wang Q., Liu S., Wang L., Wang R.* 2020. Anti-influenza A virus mechanism of three representative compounds from Flos Trollii via TLRs signaling pathways. – J. Ethnopharmacol. 253: 112634. https://doi.org/10.1016/j.jep.2020.112634
24. *Serkedjieva J., Hay A.J.* 1998. *In vitro* anti-influenza virus activity of a plant preparation from *Geranium sanguineum* L. – Antiviral Res. 37(2): 121–130. https://doi.org/10.1016/S0166-3542(97)00067-3
25. *Pantev A., Ivancheva S., Staneva L., Serkedjieva J.* 2006. Biologically active constituents of a polyphenol extract from *Geranium sanguineum* L. with anti-influenza activity. – Z. Naturforsch. C. J. Biosci. 61(7–8): 508–516. https://doi.org/10.1515/znc-2006-7-807
26. *Murzakhmetova M., Moldakarimov S., Tancheva L., Abarova S., Serkedjieva J.* 2008. Antioxidant and prooxidant properties of a polyphenol-rich extract from *Geranium sanguineum* L. in vitro and in vivo. – Phytother. Res. 22(6): 746–751. https://doi.org/10.1002/ptr.2348
27. *Choi J.G., Kim Y.S., Kim J.H., Chung H.S.* 2019. Antiviral activity of ethanol extract of Geranii Herba and its components against influenza viruses via neuraminidase inhibition. – Sci. Rep. 9: 12132. https://doi.org/10.1038/s41598-019-48430-8
28. *Wu W., Li R., Li X., He J., Jiang S., Liu S., Yang J.* 2015. Quercetin as an antiviral agent inhibits influenza A virus (IAV) entry. – Viruses. 8(1): 6. https://doi.org/10.3390/v8010006
29. *Tran T.T., Kim M., Jang Y., Lee H.W., Nguyen H.T., Nguyen T.N.,* et al. 2017. Characterization and mechanisms of anti-influenza virus metabolites isolated from the Vietnamese medicinal plant *Polygonum chinense*. – BMC Complement. Altern. Med. 17: 162. https://doi.org/10.1186/s12906-017-1675-6
30. *Shi Y., Zhang B., Lu Y., Qian C., Feng Y., Fang L., et al.* 2017. Antiviral activity of phenanthrenes from the medicinal plant *Bletilla striata* against influenza A virus. – BMC Complement. Altern. Med. 17: 273. https://doi.org/10.1186/s12906-017-1780-6
31. *Li R., Liu T., Liu M., Chen F., Liu S., Yang J.* 2017. Anti-influenza A virus activity of dendrobine and its mechanism of action. – J. Agric. Food Chem. 65(18): 3665–3674. https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b00276
32. *He W., Han H., Wang W., Gao B.* 2011. Anti-influenza virus effect of aqueous extracts from dandelion. – Virol. J. 8: 538. https://doi.org/10.1186/1743-422X-8-538
33. *Zhang T., Lo C.Y., Xiao M., Cheng L., Mok C.K.P., Shaw P.C.* 2020. Anti-influenza virus phytochemicals from *Radix Paeoniae Alba* and characterization of their neuraminidase inhibitory activities. – J. Ethnopharmacol. 253: 112671. https://doi.org/10.1016/j.jep.2020.112671
34. *Zhang L., Chen J., Ke C., Zhang H., Zhang S., Tang W., et al.* 2020. Ethanol extract of *Caesalpinia decapetala* inhibits influenza virus infection in vitro and in vivo. – Viruses. 12(5): 557. https://doi.org/10.3390/v12050557
35. *Zhang G., Zhang B., Zhang X., Bing F.* 2013. Homonojirimycin, an alkaloid from dayflower inhibits the growth of influenza A virus *in vitro*. – Acta Virol. 57(1): 85–86. https://doi.org/10.4149/av_2013_01_85
36. *Zhang G.B., Tian L.Q., Li Y.M., Liao Y.F., Li J., Bing F.H.* 2013. Protective effect of homonojirimycin from *Commelina communis* (dayflower) on influenza virus infection in mice. – Phytomedicine. 20(11): 964–968. https://doi.org/10.1016/j.phymed.2013.04.009
37. *Utsunomiya T., Kobayashi M., Pollard R.B., Suzuki F.* 1997. Glycyrrhizin, an active component of licorice roots, reduces morbidity and mortality of mice infected with lethal doses of influenza virus. – Antimicrob. Agents Chemother. 41(3): 551–556. https://doi.org/10.1128/aac.41.3.551

38. *Dao T.T., Nguyen P.H., Lee H.S., Kim E., Park J., Lim S.I., Oh W.K.* 2011. Chalcones as novel influenza A (H1N1) neuraminidase inhibitors from *Glycyrrhiza inflata*. – Bioorg. Med. Chem. Lett. 21(1): 294–298. https://doi.org/10.1016/j.bmcl.2010.11.016

39. *Ryu Y.B., Kim J.H., Park S.J., Chang J.S., Rho M.C., Bae K.H., et al.* 2010. Inhibition of neuraminidase activity by polyphenol compounds isolated from the roots of *Glycyrrhiza uralensis*. – Bioorg. Med. Chem. Lett. 20(3): 971–974. https://doi.org/10.1016/j.bmcl.2009.12.106

40. *Ko H.C., Wei B.L., Chiou W.F.* 2006. The effect of medicinal plants used in Chinese folk medicine on RANTES secretion by virus-infected human epithelial cells. – J. Ethnopharmacol. 107(2): 205–210. https://doi.org/10.1016/j.jep.2006.03.004

41. *Kim J.H., Weeratunga P., Kim M.S., Nikapitiya C., Lee B.H., Uddin M.B., et al.* 2016. Inhibitory effects of an aqueous extract from Cortex Phellodendri on the growth and replication of broad-spectrum of viruses *in vitro* and *in vivo*. – BMC Complement. Altern. Med. 16: 265. https://doi.org/10.1186/s12906-016-1206-x

42. *Wu Y., Li J.Q., Kim Y.J., Wu J., Wang Q., Hao Y.* 2011. *In vivo* and *in vitro* antiviral effects of berberine on influenza virus. – Chin. J. Integr. Med. 17(6): 444–452. https://doi.org/10.1007/s11655-011-0640-3

43. *Botwina P., Owczarek K., Rajfur Z., Ochman M., Urlik M., Nowakowska M., Szczubiałka K., Pyrc K.* 2020. Berberine hampers influenza A replication through inhibition of MAPK/ERK pathway. – Viruses. 12(3): 344. https://doi.org/10.3390/v12030344

44. *Xiong Y., Rajoka M.S.R., Zhang M.X., He Z.* 2022. Isolation and identification of two new compounds from the seeds of *Moringa oleifera* and their antiviral and anti-inflammatory activities. – Nat. Prod. Res. 36(4): 974–983. https://doi.org/10.1080/14786419.2020.1851218

45. *Xiong Y., Rajoka M.S.R., Mehwish H.M., Zhang M., Liang N., Li C., He Z.* 2021. Virucidal activity of Moringa A from *Moringa oleifera* seeds against influenza A viruses by regulating TFEB. – Int. Immunopharmacol. 95: 107561. https://doi.org/10.1016/j.intimp.2021.107561

46. *Xiao M., Lim-Ho Kong B., Zhang Y., Yang Y., Lu J., Lee H.K., et al.* 2022. Anti-influenza mechanism of phenolic phytochemicals from *Canarium album* (Lour.) DC. leaf extract. – J. Ethnopharmacol. 292: 115175. https://doi.org/10.1016/j.jep.2022.115175

47. *Chen F., Yang L., Huang Y., Chen Y., Sang H., Duan W., Yang J.* 2020. Isocorilagin, isolated from *Canarium album* (Lour.) Raeusch, as a potent neuraminidase inhibitor against influenza A virus. – Biochem. Biophys. Res. Commun. 523(1): 183–189. https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2019.12.043

48. *Chen F., Yang L., Zhai L., Huang Y., Chen F., Duan W., Yang J.* 2020. Methyl brevifolincarboxylate, a novel influenza virus PB2 inhibitor from *Canarium Album* (Lour.) Raeusch. – Chem. Biol. Drug Des. 96(5): 1280–1291. https://doi.org/10.1111/cbdd.13740

49. *Xiao M., Cao F., Huang T., Tang Y.S., Zhao X., Shaw P.C.* 2022. Urolithin M5 from the leaves of *Canarium album* (Lour.) DC. inhibits influenza virus by targeting neuraminidase. – Molecules. 27(17): 5724. https://doi.org/10.3390/molecules27175724

50. *Dao T.T., Tung B.T., Nguyen P.H., Thuong P.T., Yoo S.S., Kim E.H., et al.* 2010 C-methylated flavonoids from *Cleistocalyx operculatus* and their inhibitory effects on novel influenza A (H1N1) neuraminidase. – J. Nat. Prod. 73(10): 1636–1642. https://doi.org/10.1021/np1002753

51. *Ha T.K., Dao T.T., Nguyen N.H., Kim J., Kim E., Cho T.O., Oh W.K.* 2016. Antiviral phenolics from the leaves of *Cleistocalyx operculatus*. – Fitoterapia. 110: 135–141. https://doi.org/10.1016/j.fitote.2016.03.006

52. *Roschek B. Jr., Fink R.C., McMichael M.D., Li D., Alberte R.S.* 2009. Elderberry flavonoids bind to and prevent H1N1 infection *in vitro*. – Phytochemistry. 70(10): 1255–1261. https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2009.06.003

53. *Shahsavandi S., Ebrahimi M.M., Farahani A.H.* 2017. Interfering with lipid raft association: a mechanism to control influenza virus infection by *Sambucus nigra*. – Iran J. Pharm. Res. 16(3): 1147–1154. https://doi.org/10.22037/ijpr.2017.2091

54. *Swaminathan K., Dyason J.C., Maggioni A., von Itzstein M., Downard K.M.* 2013. Binding of a natural anthocyanin inhibitor to influenza neuraminidase by mass spectrometry. – Anal. Bioanal. Chem. 405(20): 6563–6572. https://doi.org/10.1007/s00216-013-7068-x

55. *Kinoshita E., Hayashi K., Katayama H., Hayashi T., Obata A.* 2012. Anti-influenza virus effects of elderberry juice and its fractions. – Biosci. Biotechnol. Biochem. 76(9): 1633–1638. https://doi.org/10.1271/bbb.120112

56. *Torabian G., Valtchev P., Adil, Q, Dehghani F.* 2019. Anti-influenza activity of elderberry (*Sambucus nigra*). – J. Funct. Foods, 54: 353–360.
https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.01.031

57. *Hawkins J., Baker C., Cherry L., Dunne E.* 2019. Black elderberry (*Sambucus nigra*) supplementation effectively treats upper respiratory symptoms: A meta-analysis of randomized, controlled clinical trials. – Complement. Ther. Med. 42: 361–365.
https://doi.org/10.1016/j.ctim.2018.12.004

58. *Yan Y.Q., Fu Y.J., Wu S., Qin H.Q., Zhen X., Song B.M., et al.* 2018. Anti-influenza activity of berberine improves prognosis by reducing viral replication in mice. – Phytother. Res. 32(12): 2560–2567.
https://doi.org/10.1002/ptr.6196

59. *Liu H., You L., Wu J., Zhao M., Guo R., Zhang H., Su R., Mao Q., et al.* 2020. Berberine suppresses influenza virus-triggered NLRP3 inflammasome activation in macrophages by inducing mitophagy and decreasing mitochondrial ROS. – J. Leukoc. Biol. 108(1): 253–266.
https://doi.org/10.1002/JLB.3MA0320-358RR

60. *Shi S., Huang K., Zhang Y., Zhao Y., Du Q.* 2007. Purification and identification of antiviral components from *Laggera pterodonta* by high-speed counter-current chromatography. – J Chromatogr. B. 859(1): 119–124.
https://doi.org/10.1016/j.jchromb.2007.09.016

61. *Wang Y., Zhou B., Lu J., Chen Q., Ti H., Huang W., Li J., et al.* 2017. Inhibition of influenza virus via a sesquiterpene fraction isolated from *Laggera pterodonta* by targeting the NF-κB and p38 pathways. – BMC Complement. Altern. Med. 17(1): 25.
https://doi.org/10.1186/s12906-016-1528-8

62. *Guan W., Li J., Chen Q., Jiang Z., Zhang R., Wang X., Yang Z., Pan X.* 2017. Pterodontic acid isolated from *Laggera pterodonta* inhibits viral replication and inflammation induced by influenza A virus. – Molecules. 22(10): 1738.
https://doi.org/10.3390/molecules22101738

63. *Wang Y., Zeng Z., Chen Q., Yan W., Chen Y., Xia X., Song W., Wang X.* 2019. Pterodontic acid isolated from *Laggera pterodonta* suppressed RIG-I/NF-KB/STAT1/Type I interferon and programmed death-ligand 1/2 activation induced by influenza A virus in vitro. – Inflammopharmacology. 27(6): 1255–1263.
https://doi.org/10.1007/s10787-019-00571-y

64. *Wang Y., Li J., Yan W., Chen Q., Jiang Z., Zhang R., Pan X., Wang X.* 2018. An active component containing pterodontic acid and pterodondiol isolated from *Laggera pterodonta* inhibits influenza A virus infection through the TLR7/MyD88/TRAF6/NFκB signaling pathway. – Mol. Med. Rep. 18(1): 523–531.
https://doi.org/10.3892/mmr.2018.8947

65. *Hour M.J., Huang S.H., Chang C.Y., Lin Y.K., Wang C.Y., Chang Y.S., Lin C.W.* 2013. Baicalein, ethyl acetate, and chloroform extracts of *Scutellaria baicalensis* inhibit the neuraminidase activity of pandemic 2009 H1N1 and seasonal influenza A viruses. – Evid. Based Complement. Alternat. Med. Article ID 750803.
https://doi.org/10.1155/2013/750803

66. *Chu M., Xu L., Zhang M.B., Chu Z.Y., Wang Y.D.* 2015. Role of baicalin in anti-influenza virus A as a potent inducer of IFN-gamma. – Biomed. Res. Int. Article ID 263630.
https://doi.org/10.1155/2015/263630

67. *Ding Y., Dou J., Teng Z., Yu J., Wang T., Lu N., Wang H., Zhou C.* 2014. Antiviral activity of baicalin against influenza A (H1N1/H3N2) virus in cell culture and in mice and its inhibition of neuraminidase. – Arch. Virol. 159(12): 3269–3278.
https://doi.org/10.1007/s00705-014-2192-2

68. *Zhu H.Y., Han L., Shi X.L., Wang B.L., Huang H., Wang X., et al.* 2015. Baicalin inhibits autophagy induced by influenza A virus H3N2. – Antiviral Res. 113: 62–70.
https://doi.org/10.1016/j.antiviral.2014.11.003

69. *Seong R.K., Kim J.A., Shin O.S. 2018.* Wogonin, a flavonoid isolated from *Scutellaria baicalensis*, has anti-viral activities against influenza infection via modulation of AMPK pathways. – Acta Virol. 62(1): 78–85.
https://doi.org/10.4149/av_2018_109

70. *Zhi H.J., Zhu H.Y., Zhang Y.Y., Lu Y., Li H., Chen D.F.* 2019. In vivo effect of quantified flavonoids-enriched extract of *Scutellaria baicalensis* root on acute lung injury induced by influenza A virus. – Phytomedicine. 57: 105–116.
https://doi.org/10.1016/j.phymed.2018.12.009

РАСТИТЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ, 2024, том 60, вып. 1, с. 21–53

ОБЗОРЫ

УДК 633.88: 582.751.42: 615: 547.3

КОМПОНЕНТНЫЙ СОСТАВ И БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ДИКОРАСТУЩИХ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ РОДА *LINUM* (LINACEAE)

© 2024 г. А. А. Науменко-Светлова*

Ботанический институт им. В. Л. Комарова РАН, Санкт-Петербург, Россия

**e-mail: ANaumenko@binran.ru*

Поступила в редакцию 12.12.2023 г.
После доработки 17.12.2023 г.
Принята к публикации 20.12.2023 г.

В обзоре представлены данные литературных источников по компонентному составу и биологической активности надземных и подземных частей дикорастущих видов рода *Linum* L. (Linaceae DC. ex Perleb). В последние десятилетия ведутся исследования компонентного состава не только льняного масла, но и клеточных культур *in vitro*. Эти сведения особенно актуальны для получения лекарственного сырья дикорастущих представителей рода *Linum* с небольшим ареалом или незначительной густотой зарослей. В настоящий момент получены сведения о компонентном составе и биологической активности масла или экстрактов 54 дикорастущих видов рода *Linum*, относящихся к 2 подродам и 8 секциям.
В надземных и подземных частях изученных дикорастущих представителей рода *Linum* обнаружены: слизи (листья и семена), белки (семена), витамины (листья, семена), алкалоиды, флавоноиды, сапонины, кумарины, дубильные вещества, пигменты, цианогенетические глюкозиды и лигнаны. Из цветков *L. perenne* L., *L. ausrtiacum* L., *L. hirsutum* L., *L. pubescens* Willd. ex Schult., *L. tenuifolium* L. и *L. catharticum* L. выделено эфирное масло. Данные хемосистематики не противоречат системе рода, составленной нами ранее на основании морфологических, анатомических и молекулярных признаков. Показано, что семена и жирное масло дикорастущих видов рода *Linum* обладают обволакивающим, ранозаживляющим, легким слабительным и обезболивающим свойствами. Экстракты дикорастущих видов рода *Linum*, а также отдельные их компоненты, проявляют разные виды биологической активности: антибактериальную, антимикробную, антифунгальную, дрожжестатическую, противовирусную, цитотоксическую, противоопухолевую, противовоспалительную, ранозаживляющую и антиоксидантную. В традиционной медицине Азии и Европы используют семена, масло и надземные части *L. perenne*, *L. baicalense* Juz., *L. altaicum* Ledeb. ex Juz., *L. olgae* Juz. и *L. heterosepalum* Regel. Виды, отличающиеся большим содержанием лигнанов арилдигидронафталинового типа (типичный представитель юстицидин В) проявляют противовирусную активность и эффективны против SARS-Cov-2. Представители желтоцветковых льнов из секции *Syllinum*, у которых преобладающим типом лигнанов является арилтетралиновый тип (например, 6-метоксиподофиллотоксин и его производные), проявляют антираковую активность. *L. corymbulosum* Reichenb. из секции *Linopsis*, содержащий (–)-хинокинин, может быть перспективной отечественной фармацевтической субстанцией растительного происхождения для последующего всестороннего изучения как дополнительное средство против вируса гепатита В человека.

Ключевые слова: *Linum*, дикорастущие представители, компонентный состав, биологическая активность

DOI: 10.31857/S0033994624010026, **EDN:** HHQHXH

Род *Linum* L. (лен) – один из самых крупных родов семейства льновые Linaceae DC. ex Perleb, в полном объеме насчитывает свыше 200 видов, распространенных в умеренных и субтропических областях обоих полушарий и относящихся к 2 подродам, 9 секциям и 8 подсекциям [1]. По типу жизненной формы представители разных секций рода относятся к поликарпическим стержнекорневым каудексовым многолетним, реже малолетним травянистым растениям, однолетним травам, или полукустарничкам (табл. 1). Листья сидячие, очередные, реже супротивные (*L. catharticum* L. и некоторые виды секции *Linopsis* (Reichenb.) Engelm.) или нижние мутовчатые (некоторые североамериканские виды секции *Linopsis*). По форме они бывают линейными, ланцетными, линейно-ланцетными, обратнояйцевидными, продолговатыми, узкоэллиптическими или лопатчатыми, цельнокрайными или мелкопильчатыми, голыми или опушенными,

Таблица 1. Исследованные дикорастущие представители рода *Linum*
Table. 1. The studied wild *Linum* species

Секция Section	N	Вид Species	Географическое распространение Geographical distribution	Литературные источники Literature
Section *Adenolinum* (Reichenb.) Juz.	1	[1]*L. perenne* L.	Вост. Европа; Атл. Европа: Великобритания (Кембридж); Центр. Европа; Южн. Европа: Словения; Зап. и Вост. Сиб.; Сред. Азия; Зап. Азия: Афганистан; Центр. Азия: Монголия, Зап. Кашгария (сел. Донг-арык), Джунгария; Вост. Азия: Сев.-Вост. Китай (Дунбэй); Южн. Азия: Пакистан; Юго-Вост. Азия: Южн. Китай (Юньнань) Eastern Europe; Atlantic Europe: UK (Cambridge); Central Europe; Southern Europe: Slovenia; Western and Eastern Siberia; Middle Asia; Western Asia: Afghanistan; Centeral Asia: Mongolia, West. Kashgaria (Dong-aryk village), Dzungaria; Eastern Asia: North-Eastern China (Dongbei); Southern Asia: Pakistan; South-Eastern Asia: South China (Yunnan)	41
	2	[1]*L. austriacum* L.	Вост. Европа; Атл. Европа: Великобритания (Кембридж); Центр. Европа; Южн. Европа Eastern Europe; Atlantic Europe: Great Britain (Cambridge); Centeral Europe; Southern Europe	41
		[1]*L. austriacum* L. subsp. *glaucescens* (Boiss.) P.H. Davis (= *L. glaucum* Boiss. et Noë)	Кавказ; Зап. Азия: Турция, Ирак, Иран Caucasus; Western Asia: Türkiye, Iraq, Iran	41
	3	[1]*L. squamulosum* Rudolphi (= *L. austriacum* subsp. *euxinum* = *L. euxinum* Juz.)	Вост. Европа: Крым; Кавказ: Сев.-Зап. Закавказье Eastern Europe: Crimea; Caucasus: North-Western Transcaucasia	41
	4	[1]*L. altaicum* Ledeb. ex Juz.	Зап. Сибирь: Алт.; Сред. Азия; Центр. Азия: Монголия, Зап. Кашгария (в 25 км на юг от пос. Иркештам, дол. р. Сулу-Сакал), Сев.-Зап. Китай Western Siberia: Altay; Middle Asia; Central Asia: Mongolia, Western Kashgaria (25 km south of the village of Irkeshtam, along the Sulu-Sakal river), North-Western China	41
	5	[1]*L. leonii* F. W. Schultz	Центр. Европа: Франция, Германия Central Europe: France, Germany	41
	6	[1]*L. lewisii* Pursh	Сев. Америка North America	41
	7	[1]*L. anglicum* Mill.	Атл. Европа: Великобритания Atlantic Europe: Great Britain	41
	8	[1]*L. macrorhizum* Juz. (= *L. mesostylum* Juz.)	Зап. (Афганистан) и Сред. Азия Western Asia (Afghanistan), Middle Asia	41
	9	[1]*L. meletonis* Hand.-Mazz.	Зап. Азия: Турция, Сев. Ирак Western Asia (Türkiye, Iraq)	41
	10	[1]*L. baicalense* Juz.	Вост. Сибирь; Центр. Азия: Монголия Eastern Siberia; Centeral Asia: Mongolia	41
	11	[1]*L. komarovii* Juz.	Вост. Сибирь; Дальний Восток: Охотский р-он Eastern Siberia; Far East (Ochotsty district)	41

Таблица 1. Продолжение

Section *Adenolinum* (Reichenb.) Juz.	12	[1]*L. extraaxillare* Kit.	Вост. Европа: Украина (редко); Центр. Европа: Австрия (Калькальпен), Венгрия (г. Татры, Золим), Словакия (Зап. (г. Особита, г. Каспровы Верх) и Вост. (Бельянские Татры, долина Зуберец) Татры), Румыния (г. Бучеч, г. Фагарас, г. Мармарош, Бистрица, Брашов); Южн. Европа: Словения Eastern Europe: Ukraine (rare); Centeral Europe: Austria (Kalkalpen), Hungary (Tatry, Zolim), Slovakia (West (Osobita, Kasprowy Wierch) and East (Belanskie Tatras, Zuberec Valley) Tatras), Romania (Bucec, Fagaras, Marmaros, Bistrita, Brasov); Southern Europe: Slovenia	41
	13	[1]*L. alpinum* Jacq.	Центр. и Южн. Европа Centeral and Southern Europe	41, 85
	14	[1]*L. pallescens* Bunge	Зап. Сиб. (реки Чуя и Иртыш), Вост. Сиб.: Республика Тыва; Сред. Азия; Центр. Азия: Монголия, Кашгария, Джунгария, Сев.-Зап. Китай Western Siberia (Chuya and Irtysh rivers), Eastern Siberia: Republic of Tyva; Central Asia: Mongolia, Kashgaria, Dzungaria, North-West China	41
	15	[1]*L. amurense* Bunge	Вост. Сиб., Дальн. Вост., Центр. Азия: Монголия, Китай (Дунбэй) Eastern Siberia, Far East, Central Asia: Mongolia, China (Dongbei)	41
Section *Stellerolinum* Juz. ex Probat.	16	[2]*L. stelleroides* Planch.	Вост. Сибирь, Дальн. Восток, Вост. Азия (Китай, Япония) Eastern Siberia, Far East, Eastern Asia (China, Japan)	1
Section *Linum*	17	[3]*L. bienne* Mill.	Кавказ, Центр., Вост. и Южн. Европа, Сев. Африка (Марокко) Caucasus, Central, Eastern and Southern Europe, Northern Africa (Morocco)	1
	18	[1]*L. narbonense* L.	Центр. Европа (Сев. Италия), Зап. Турция, Сев. Африка (Марокко) Central Europe (Northern Italy), Western Türkiye, Northern Africa (Morocco)	85
	19	[1]*L. nervosum* Waldst. et Kit.	Кавказ, Вост., Центр. и Южн. Европа, Зап. Азия Caucasus, Eastern, Central. and Southern Europe, Western Asia	1
	20	[4]*L. olympicum* Boiss.	Южн. Европа (Греция, Турция) Southern Europe (Greece, Türkiye)	85
	21	[1]*L. bungei* Boiss.	Зап. Азия (Иран) Western Asia (Iran)	85
	22	[2]*L. marginale* A. Cunn. ex Planch.	Сев. Америка, Австралия North America, Australia	85
	23	[2]*L. monogynum* Hort. ex Reichenb. (=*L. hologinum* Reichenb.)	Южн. Европа (Албания, Болгария, Греция, Румыния, бывшая Югославия) Southern Europe (Albania, Bulgaria, Greece, Romania, former Yugoslavia)	85

Таблица 1. Продолжение

Section *Linum*	24	[2]*L. decumbens* Desf.	Центр. Европа (Сев. Италия), Зап. Турция, Сев. Африка Central Europe (Northern Italy), Western Türkiye, Northern Africa	85
	25	[2]*L. grandiflorum* Desf.	Сев. Африка Northern Africa	1
Section *Syllinum* Griseb.	26	[1]*L. flavum* L.	Вост., Центр. (Германия) и Южн. Европа Eastern, Central (Germany) and Southern Europe	1
	27	[1]*L. thracicum* Degen	Южн. Европа Southern Europe	85
	28	[4]*L. ucranicum* (Griseb. ex Planch.) Czern.	Вост. Европа Eastern Europe	1
		[4]*L. uralense Juz.* (= ***L. ucranicum*** subsp. ***uralense*** (Juz.) T.V. Egorova)	Вост. Европа Eastern Europe	1
	29	[4]*L. tauricum* Willd.	Кавказ; Вост. Европа (Крым), Южн. Европа (Румыния, Болгария) Caucasus, Eastern Europe (Crimea), Southern Europe (Romania, Bulgaria)	1
	30	[4]***L. mucronatum*** Bertol. subsp. ***mucronatum***	Зап. Азия: вост. Турция, Сирия, Ливан, сев. Ирак, зап. Иран Western Asia: Eastern Türkiye, Syria, Lebanon, Northern Iraq, Western Iran	1, 85
		[4]*Linum mucronatum* subsp. *orientale* (Boiss. et Heldr.) P.H. Davis	Юго-Зап. Азия: юг Турции, зап. Сирия, Ирак, зап. Иран, Ливан и Палестина South-Western Asia: Southern Türkiye, Western Syria, Iraq, Western Iran, Lebanon and Palestine	1, 85
		[4]*L. mucronatum* Bertol. subsp. *armenum* (Bordz.) P.H. Davis	Кавказ; Юго-Зап. Азия (центр. и вост. Сирия, сев. Ирак, сев.-зап. Иран Caucasus; South-Western Asia (Central and Eastern Syria, Northern Iraq, Northwestern Iran)	1
	31	[4]*L. czernjajevii* Klok.	Вост. Европа (Крым) Eastern Europe (Crimea)	1
	32	[4]*L. elegans* Spruner ex Boiss.	Южн. Европа Southern Europe	36, 85
	33	[4]*L. capitatum* Kit. ex Schult.	Южн. Европа Southern Europe	36, 85
	34	[1]*L. campanulatum* L.	Южн. Европа Southern Europe	85
	35	[1]*L. linearifolium* (Jávorka) Juz.	Вост. Европа, Центр. Европа (юго-вост.) Eastern Europe, Central Europe (southeast)	1
	36	[4]*L. album* L.	Зап. Азия: Иран Western Asia (Iran)	85
	37	[4]*L. arboreum* L.	Южн. Европа Southern Europe	36, 85

Таблица 1. Продолжение

	38	[4]*L. dolomiticum* Borbás	Центр. Европа: Венгрия Central Europe: Hungary	85
Section *Tubilinum* Svetlova	39	[2]*L. nodiflorum* L.	Кавказ, Вост. (Крым), Центр. и Южн. Европа, Зап. Азия (Иран) Caucasus, Eastern Europe (Crimea), Central and Southern Europe, Western Asia (Iran)	1
Section *Dasylinum* (Planch.) Juz.	40	[1]*L. hirsutum* L.	Вост., Центр. (Германия) и Южн. Европа Eastern, Central (Germany) and Southern Europe	1
		[1]*L. lanuginosum Juz.* (= ***L. hirsutum*** subsp. ***lanuginosum*** (Juz.) T. V. Egorova)	Кавказ: окр. Анапы, Новороссийска и Геленджика. Вост. Европа. Крым Caucasus: surroundings of Anapa, Novorossiysk and Gelendzhik; Eastern Europe. Crimea	1
	41	[1]*L. pubescens* Banks et Sol.	Зап. Азия Western Asia	85
	42	[1]*L. hypericifolium* Salisb.	Кавказ, Зап. Азия Caucasus, Western Asia	1
	43	[1]*L. viscosum* L.	Южн. Европа Southern Europe	36, 85
Section *Macrantholinum* Juz.	44	[1]*L. heterosepalum* Regel	Сред. и Центр. Азия: Кашгария: Сев. (в 7 км юго-восточнее пос. Аксу), Джунгария Middle and Central Asia: Kashgaria: North (7 km southeast of the village of Aksu), Dzungaria	1
	45	[1]*L. olgae* Juz.	Сред. Азия Middle Asia	1
Section *Linopsis* (Reichenb.) Engelm.	46	[4]*L. suffruticosum* L.	Южн. Европа Southern Europe	85
	47	[1]*L. tenuifolium* L.	Кавказ, Атл., Вост., Центр. и Южн. Европа, Зап. Азия Caucasus, Eastern, Atlantic, Central and Southern Europe, Western Asia	1
	48	[2]*L. corymbulosum* Reichenb.	Кавказ, Вост. и Южн. Европа, Сред., Центр., Вост. и Зап. Азия, Сев. Африка: Алжир Caucasus, Eastern and Southern Europe, Western, Middle, Central and Eastern Asia, Northern Africa	1
	49	[2]*L. strictum* L.	Центр. и Южн. Европа, Зап. Азия Central and Southern Europe, Western Asia	1
	50	[2]*L. trigynum* L.	Кавказ, Вост., Центр. и Южн. Европа, Зап. Азия Caucasus, Eastern, Central and Southern Europe, Western Asia	1
	51	[2]*L. numidicum* Murb.	Сев. Африка: Алжир, Марокко, Тунис Northern Africa: Algeria, Morocco, Tunisia	85
	52	[2]*L. aristatum* Engelm.	Сев. Америка North America	85
	53	[2]*L. hudsonioides* Planch.	Сев. Америка North America	85

Таблица 1. Окончание

Subgenus *Cathartolinum* (Reichenb.) Svetlova	54	[2]*L. catharticum* L.	Зап. Сибирь, Кавказ, Атл., Вост., Центр. и Южн. Европа, Сред. и Зап. Азия, Сев. Америка, Сев. Африка Western Siberia, Caucasus, Atlantic, Eastern, Central and Southern Europe, Central and Western Asia, North America, Northern Africa	1

Примечание. Здесь и в табл. 2. 1 – многолетники, 2 – однолетники, 3 – малолетники (двулетники), 4 – полукустарнички.
Notes. Here and in Table 2: 1 – perennial species, 2 – annual species, 3 – biennial species, 4 – subshrubs.

с 1 или 3–5 параллельными, в разной степени выраженными жилками, иногда с 2 коричневатыми стипулярными железками при основании (только у представителей секций *Syllinum* Griseb. и *Tubilinum* Svetlova). Цветки у представителей рода пятичленные, обоеполые, актиноморфные, гетеростильные (с длинными тычинками и короткими столбиками у одних растений и с короткими тычинками и длинными столбиками у других), либо гомостильные (с тычинками и столбиками одинаковой или почти одинаковой длины), энтомофильные, самоопыляющиеся, собраны в цимозные соцветия. Чашелистики свободные, цельные, черепитчатые, по краям со стебельчатыми железками, реснитчатые или белоперепончатые, без железок и ресничек. Лепестки свободные, с ноготком (иногда соединенные в короткую трубку), длиннее чашелистиков, разнообразной окраски (голубые, синие, желтые, реже розовые, фиолетовые, красные или белые). Тычинок 5, чередующихся с лепестками; нити тычинок в основании дельтовидно расширенные, как правило, свободные или сросшиеся в самом основании, редко (*L. nodiflorum* L.) тычиночные нити срастаются по всей длине, охватывают коробочку и возвышаются над ней в виде трубки; иногда присутствуют зубцевидные staminодии. Плод – *септицидная коробочка,* (1.8)2–7(8) мм дл., (1.8)2–7(8) мм шир., шаровидной, сплюснуто-шаровидной, шаровидно-яйцевидной или яйцевидной формы, раскрывающаяся 10 односемянными сегментами, редко нераскрывающаяся или почти нераскрывающаяся (*L. usitatissimum* L.). Коробочки на поперечном срезе округлые, реже 10- или 5-гранные; разделены перегородками на 5 гнезд, в каждом из которых лежит по 2 семени, в свою очередь отделенных друг от друга ложными перегородками. Семена (1.1)2–5(6) мм в дл., (0.7)1–3(4) мм шир., обратнояйцевидной или эллипсоидальной формы, в поперечном сечении у большинства видов они эллиптические, редко округлотрехгранные (*L. nodiflorum* из секции *Tubilinum*). Окраска семян преимущественно темно-коричневая, иногда – светло-коричневая (виды секций *Syllinum* и *Tubilinum*). У культурного вида *L. usitatissimum* семена могут быть желтыми, оливковыми, зелеными, с красноватым или черноватым оттенками [1].

Как показали наши исследования [1–3], на территории России и сопредельных государств, а также стран Средней и Центральной Азии, встречаются представители всех известных секций, выделенных в роде *Linum*. Часть этих видов является эндемичными для конкретных регионов, а ареалы других – охватывают большие территории, выходящие за пределы России и сопредельных государств (табл. 1). Исследованные виды произрастают в умеренных и субтропических областях обоих полушарий и встречаются в разных экологических условиях: на равнинах и в горах (до высоты 3000–3900 м над ур. м.), часто на каменистых и щебнистых склонах, меловых и известняковых обнажениях, в степных сообществах, на остепненных лугах, на субальпийских и альпийских лугах, на лесных полянах и опушках, залежах, окраинах полей, иногда на засоленных болотах.

Среди видов рода *Linum* наиболее исследованным, в том числе в отношении компонентного состава и биологической активности, является *L. usitatissimum* – лен обыкновенный – однолетнее травянистое растение, широко распространенное и имеющее много форм и разновидностей, отличающихся общими размерами растений (до 70 см и выше), характеристиками семян и волокна. Из современных внутривидовых классификаций льна обыкновенного наиболее удачной признается канад-

ская классификация, в которой *L. usitatissimum* подразделяется на четыре группы разновидностей: *L. usitatissimum* convar. *crepitans* (Boenningh.) Kulpa et Danert.; *L. usitatissimum* convar. *elongatum* Vav. et Ell.; *L. usitatissimum* convar. *mediterraneum* (Vav. et Ell.) Kulpa et Danert.; *L. usitatissimum* convar. *usitatissimum* [4]. *L. usitatissimum* входит в десятку лучших масличных культур в мире, выращивается в России, Китае, Аргентине, Канаде, США, Индии и Эфиопии [5]. Масло *L. usitatissimum* находит широкое применение в промышленности (для приготовления олифы, лаков, красок, линолеума, клеенки и т.д.) и в медицине. Многие виды льна являются декоративными растениями [5, 6].

Так как большинство представителей рода *Linum* распространено в сухих местообитаниях, то они, как и многие другие цветковые, характеризуются наличием слизесодержащих клеток в семенной кожуре и эпидерме листьев [7]. Слизь в семенах отвечает за их прорастание и защиту. В состав слизи большинства цветковых растений, в частности, и видов рода *Linum*, входят водорастворимые полисахариды рамногалактуронан и кислые арабиногалактаны, проявляющие высокую физиологическую активность [8, 9]. В состав слизи *L. usitatissimum*, в большинстве своем, входят водорастворимые полисахариды рамногалактуронан I и арабиноксилан. Водорастворимые полисахариды обладают обволакивающими, противовоспалительными, легкими слабительными, заживляющими, активирующими фагоцитоз, митогенными и противоопухолевыми свойствами [8, 10–12].

Подробно изучен и компонентный состав семян *L. usitatissimum* [13–15]. Льняное семя богато полиненасыщенными жирами (73%), содержит недольное количество насыщенных жиров (9% от общего количества жирных кислот) и умеренное количество мононенасыщенных жиров (18%). Жирные кислоты: от 5 до 6% пальмитиновой кислоты (C16:0), от 3 до 6% – стеариновой (C18:0, $C_{18}H_{36}O_2$), от 19 до 29% – олеиновой (C18:0, $C_{18}H_{34}O_2$), от 14 до 18% – линолевой (C18:2, ω-6, $C_{18}H_{32}O_2$) и от 45 до 52% – α-линоленовой (C18:3, ω-3, $C_{18}H_{33}O_2$) кислот. Высокое содержание линолевой и α-линоленовой кислот являются характерной чертой семян видов рода *Linum* [16]. В состав масла льняного семени входят: фосфолипиды 41%; фенольные кислоты: феруловая, хлорогеновая и галловая; лигнаны с эстрогеноподобными свойствами – секоизоларицирезинол диглюкозид (СДГ) и витамины – α-токоферол (признается наиболее активной формой витамина Е). Содержание белка (глобулины, в основном линин и конлинин, а также глютелин) варьирует от 6 до 20–30%. Кроме того, в семенах льна обнаружено небольшое количество цианогенетического глюкозида линамарина, линустатин, неолинустатин и лотаустралин. Отмечено, что длительное употребление продуктов, содержащих цианогенные вещества, может вызвать хроническое отравление, а это, в свою очередь, значительно ограничивает применение семян льна в рационе [14]. Дальнейшие исследования показали, что токсический эффект от употребления льняного семени, обусловленный содержащимися в нем цианогенными гликозидами, линатином и кадмием (в небольших концентрациях) минимален и не оказывает какого-либо негативного воздействия на организм [17].

Питательную ценность семян определяют n-6 и n-3 полиненасыщенные жирные кислоты (n-6 и n-3 ПНЖК): α-линоленовая кислота (ALA) с двойной связью C=C в положении n-3 (n-3, ω-3), а линолевая (LA) – с двойной связью C=C в положении n-6 (n-6, ω-6). Они самостоятельно не синтезируются организмом, но очень важны для здоровья человека, в частности для снижения риска сердечно-сосудистых заболеваний. Было показано, что виды с максимальными концентрациями ALA могут обладать потенциально более высокой антиоксидантной активностью [18]. Известно также, что, благодаря высокому соотношению ω-3 и ω-6 в семенах льна, при их использовании в рационе лошадей, у последних уменьшается воспаление и повреждение мышц, экономится использование мышечного гликогена и глюкозы в крови после тренировок и улучшается состояние шерсти [19].

Препараты на основе *L. usitatissimum* рекомендуют для лечения таких заболеваний, как атеросклероз, гипертония, астма, кашель, бронхит, плеврит, пневмония, боли в суставах, почечная колика, почечные камни и ревматический отек [17, 20]. Масло *L. usitatissimum* используют для лечения пациентов с нарушениями липидного обмена, снятия воспаления и ослабления симптомов менопаузы и остеопороза. Известно, что льняное масло снижает уровень сердечно-сосудистых заболеваний, риски развития рака, особенно молочных и предстательной желез, и оказывает слабительное действие. Препараты на основе льняного масла LOMIX показали противовоспалительную и антираковую активности.

Кроме того, активность этих препаратов была исследована на клеточных линиях меланомы мышей. Исследования показали, что эти препараты можно использовать для новых терапевтических материалов при гиперпигментации [21]. Экстракты *L. usitatissimum* обладают ранозаживляющим и обезболивающим свойствами, проявляют антиоксидантную, антималярийную, гепатопротекторную, антираковую, антимикробную и антидиабетическую активности [17, 22–30]. Опосредованно антиоксидантную активность льняного семени используют и в промышленности. Так, проведенные исследования [31, 32] показали, что использование водного экстракта из льняного семени (FSE), полученного с фермерских хозяйств Египта, помогает быстро и недорого синтезировать эффективные полупроводниковые наноматериалы для очистки воды от органических, неорганических и биологических загрязнителей. Полученные зеленые наноматериалы по своим характеристикам превосходят соответствующие наноматериалы, полученные химическим методом.

Согласно исследованиям Е.В. Эллади [5], зависимость между размерами семян и содержанием в них масла практически отсутствует. Обнаружена связь длины вегетационного периода и типа жизненной формы растений с масличностью. Многолетние виды рода *Linum* отличаются от однолетних меньшим содержанием масла [5, 14]. Увеличение длины вегетационного периода способствует накоплению масла в семенах.

Размеры семян у разновидностей *L. usitatissimum* варьируют в пределах 4–5 мм в длину и 2–3 мм в ширину [4]. Обнаружено, что соотношение основных жирных кислот в семенах *L. usitatissimum* может значительно различаться. Такие различия наблюдали в двух случаях: 1) в образцах, выращенных в разных регионах; 2) при использовании для исследований разных экстрагирующих растворителей [15]. Так, например, при экстрагировании петролейным эфиром выявлены максимальные показатели (42.4%) для αлиноленовой кислоты, содержание линолевой, пальмитиновой и стеариновой кислот было меньше (26.2, 12.9 и 10.7% соответственно). При использовании *н*-гексана в качестве экстрагирующего растворителя содержание линолевой кислоты (46.5%) было больше, а содержание α-линоленовой кислоты (11.6%) – меньше, в то время как пальмитиновая кислота составляла 18.0%. Кроме того, было обнаружено, что содержание α-линоленовой кислоты в сортах льняного семени новозеландского и канадского происхождения составляет около 60%, что намного больше, чем в сортах, происходящих из Пакистана, Эфиопии, Египта и США (45–50%) [15].

Известно, что многие лекарственные свойства представителей рода *Linum* связаны также с наличием в их органах таких соединений, как лигнаны. В последние десятилетия основные исследования направлены на изучение этих компонентов: биологической активности, способов и условий их синтеза, распределения по органам растения. Это обусловлено тем, что лигнаны обладают большим спектром биологических активностей, востребуемых медициной. В настоящее время ведется поиск замены лекарственных препаратов для лечения разных заболеваний на препараты растительного происхождения, а растения, из которых извлекают биологически активные вещества, могут иметь естественные ограничения в масштабах использования их сырья в силу малочисленности популяций или своей редкости. Поэтому использование клеточных культур растений для выделения полезных лигнанов также признано целесообразным. Постоянное продуцирование вторичных метаболитов независимо от географических ограничений, высокая скорость роста и отсутствие вирусов в клонах являются некоторыми преимуществами культуры *in vitro* по сравнению с культивируемыми растениями или дикорастущими видами [33].

Юстицидин В – арилнафталеновый лигнан – обладает широким спектром полезных биологических свойств: бактерицидные, противогрибковые, противовирусные и антибактериальные [34], благодаря которым он обратил на себя внимание исследователей. Подофиллотоксин – производное арилтетралина – используют в качестве предшественника полусинтетических противораковых препаратов: этопозид, тенипозид и Этопофос®. Основным коммерческим источником подофиллотоксина является *Podophyllum emodi* Wall. (Berberidaceae), растущий в альпийских и субальпийских р-нах Гималаев, который стал исчезающим видом в результате чрезмерного сбора лекарственного сырья [35]. Поэтому поиск новых природных источников этих лигнанов и уточнение условий, при которых их содержание в растениях можно увеличить для дальнейшего использования в промышленных масштабах, признаны актуальными.

По сравнению со льном обыкновенным, сведения о компонентном составе, биологической активности масел и экстрактов надземных и подземных частей дикорастущих представителей рода *Linum* носят фрагментарный характер. Вместе с тем, такие исследования могут быть очень актуальными как для уточнения вопросов хемосистематики, так и для потенциальной возможности дальнейшего использования этих видов в качестве лекарственного сырья для лечения ряда заболеваний.

Цель обзора обобщить имеющиеся в литературе данные по компонентному составу и биологической активности дикорастущих представителей рода *Linum*, относящихся к разным секциям.

Отметим, что в большинстве литературных источников авторы при изучении компонентного состава и биологической активности видов рода *Linum* опираются на систему, предложенную D.J. Ockendon и S.M. Walters [36], в которой типовая секция рассматривается в широком смысле (в секцию *Linum* относят все виды с голубыми цветками) с учетом филогенетических связей между видами рода, установленных J. McDill с соавторами [37]. Так, например, T.J. Schmidt [38, 39] приводит данные компонентного состава семян для типичных представителей секции *Linum* (*L. usitatissimum* и *L. bienne*) в одной группе с *L. perenne* L., *L. ausrtiacum* L., *L. lewisii* Pursh, *L. alpinum* Jacq., *L. leonii* F. W. Schultz, *L. meletonis* Hand.-Mazz., *L. altaicum* Ledeb. ex Juz. и *L. glaucum* Boiss. et Noë. Критическая обработка большого количества гербарного материала, включая типовой, с привлечением анатомических и молекулярных данных, позволила нам составить систему рода *Linum* [1], за основу которой была взята обработка С.В. Юзепчука для флоры СССР [40]. Мы рассматриваем типовую секцию этого рода в более узком смысле и разделяем виды, отнесенные к ней, на 2 секции: *Linum* и *Adenolinum* (Reichenb.) Juz. [1]. Некоторые секции (*Linum*, *Adenolinum*, *Syllinum*) разделены нами на подсекции [1, 41]; *L. nodiflorum* и *L. stelleroides* Planch. выделены в монотипные секции *Tubilinum* и *Stellerolinum* соответственно, а *L. catharticum* – в отдельный подрод *Cathartolinum* [1].

В данном обзоре все обнаруженные литературные сведения расположены в соответствии с принятой нами системой рода [1, 41]. Названия ряда видов помещены в синонимы. Если в работах других авторов применено название, отнесенное нами в синонимы, это будет отмечено отдельно.

КОМПОНЕНТНЫЙ СОСТАВ

Слизь и кремний. Нами [7] было изучено строение слизесодержащих клеток в семенной кожуре и эпидерме листьев 7 широкораспространенных дикорастущих представителей рода *Linum*, относящихся к разным секциям. Показано, что слизесодержащие клетки присутствуют в семенной кожуре и эпидерме листьев у всех изученных видов, но различаются формой и расположением, локализацией в них слизи и наличием слоистости. Соединения кремния в листьях и семенах исследованных представителей этого рода присутствуют в двух формах: кристаллическом и аморфном (см. ниже). У большинства исследованных видов рода *Linum*, благодаря разрывам наружных клеточных стенок слизесодержащих клеток, слизь выходит наружу и покрывает семя плотным слоем [7].

Компонентный состав семян. Размеры семян для исследованных нами дикорастущих представителей рода *Linum*, относящихся к разным секциям, варьируют в пределах (1.1)1.4–2–5 мм в длину, (0.7)1–3 мм в ширину [1]. Сведений о составе семян дикорастущих представителей этого рода в литературе немного, они носят фрагментарный характер [16, 42–47]. Интересно отметить, что для одного и того же вида в разных источниках приводятся разные показатели содержания в семенах жирных кислот (см. табл. 2). Это можно объяснить разным географическим происхождением материала: N.S. Plaha с соавторами [16] выращивали семена в Нью-Дели (28°38′ 53.7° N, 77°09′ 05.4″ E, 218 м над ур. моря), в работе L. Vellasco [44] виды рода *Linum* выращены в Германии. Выявлено, что для изучения питательных качеств семян видов рода *Linum* на основе состава жирных кислот, нужно учитывать ряд показателей: соотношение полиненасыщенных жирных кислот к насыщенным жирным кислотам, отношение жирных кислот n-6/n-3, атерогенность, тромбогенность, окисляемость, окислительную стабильность, соотношение гипохолестеринемических и гиперхолестеринемических жирных кислот и их способность к перекисному окислению. Кроме того, для снижения риска сердечно-сосудистых заболеваний у населения в его рационе предпочтительно

Таблица 2. Содержание лигнанов, жирных кислот и витаминов в семенах дикорастущих представителей рода *Linum*
Table 2. Content of lignans, fatty acids and vitamins in seeds of the wild *Linum* species

Вид Species	Размеры семян, дл./шир., мм Seed sizes, length / width, mm	Жирное масло Fatty oil, %	PA,	SA,	OA,	LA,	ALA,	Лигнаны Lignans	Витамины Vitamins	Литературные источники Literature
			% от общего содержания жирных кислот % of the total fatty acids							
[1]*L. perenne* L.	3/1.5	25–33	3.9 7.5	2.0 3.2	16.0 23.6	24.3 20.8	51.9 44.4	AN/ ADN, AT, DBBL	A, B_2, α-токоферол, γ-токоферол, δ-токоферол α-tocopherol, γ-tocopherol, δ-tocopherol	38, 42,45, 44, 16
[1]*L. austriacum* L.	3/1.5	до 27	3.9 6.8	1.7 2.9	19.1 23.3	55 22.9 19.2	53.3 47.1	AN/ADN, AT, DBBL	γ-токоферол, γ-tocopherol	42, 44, 16, 38
[1]*L. squamulosum* Rudolphi (= *L. austriacum* subsp. *euxinum*)	2.5–3/1.5–2	до 27	–	–	–	–	–	–	–	45
[1]*L. altaicum* Ledeb. ex Juz.	2.5–3/1.5–2	24.3	3.9 (3.7–4.2) 6.6	1.5 (1.4–1.6) 6.2	16.8 (15.3–19.5) 22.3	23.4 (21.6–25.0) 21.1	52.9 (49.9–56.0) 43.8	AN/ADN	γ-токоферол, δ-токоферол γ-tocopherol, δ-tocopherol	44, 16, 38
[1]*L. leonii* F. W. Schultz	2.5–3/1.5–2	24.4	4.2	1.5	19.3	23.9	50.1	AN/ ADN	γ-токоферол γ-tocopherol	44, 38
[1]*L. lewisii* Pursh	2.5–3/1.5–2	27.6	3.8 5.2	1.4 2.9	13.5 18.9	20.5 17.6	59.5 55.3	AN/ ADN, DBBL	α-токоферол, γ-токоферол α-tocopherol, γ-tocopherol	44, 16, 38
[1]*L. macrorhizum* Juz. (= *L. mesostylum* Juz.)	2.5–3/1.5–2	23.9	3.1	1.1	15.0	14.9	64.6	–	γ-токоферол γ-tocopherol	44

Таблица 2. Продолжение

[1]*L. baicalense* Juz.	2.5–3/1.5–2	30–48	8–9	8–9	15–20	25–35	35–45	–	A	42, 43
[1]*L. komarovii* Juz.	4–5/2.5–3.0	23.8	3.6	1.6	11.9	22.3	59.0	AN/ADN	γ-токоферол, δ-токоферол γ-tocopherol, δ-tocopherol	42, 44, 38
[1]*L. alpinum* Jacq.	2.5–3/1.5–2	до 27	–	–	–	–	–	AN/ADN	–	45, 38
[1]*L. pallescens* Bunge	3–4/2.0–3.0	25.2	3.3	1.4	17.3	19.0	57.4	AN/ADN	α-токоферол, γ-токоферол α-tocopherol, γ-tocopherol	38, 42, 44
[2]*L. stelleroides* Planch.	2.5–3/1.5–2.0	25.3	3.9	1.7	17.8	3–9 24.0	51.1	AN/ADN	α-токоферол, γ-tocopherol	42, 44, 38
[3]*L. bienne* Mill.	3.5–4.0/3	–	9.6	7.4	25.9	10.2	46.7	FF	–	16, 38
[2]*L. usitatissimum* L. только в культуре	4.5–5.0/3	32.9–37.2	5–6 8.1	3–6 5.7	19–29 24.7	14–18 12.1	45–52 49.3	DBBL	α-токоферол, γ-токоферол α-tocopherol, γ-tocopherol	13, 15, 16, 38, 39, 44
[1]*L. narbonense* L.	2.5–3.0/1.5	23.0	4.4	2.5	11.4	28.3	52.8	–	α-токоферол, γ-токоферол α-tocopherol, γ-tocopherol	44
[2]*L. marginale* A. Cunn. ex Planch.	2.5–3.0/1.5	–	8.2	5.6	17.6	10.7	57.6	–	–	16
[2]*L. decumbens* Desf.	3.5–4.0/2.5	18.7	6.6	2.8	17.7	14.3	57.3	0	γ-токоферол, δ-токоферол γ-tocopherol, δ-tocopherol	44, 38
[2]*L. grandiflorum* Desf.	3.5–4.0/2.5	до 23.95	6.0	3.9	18.8	13.9	56.6	0 (семена) AN/AND (каллус)	γ-токоферол γ- tocopherol	42, 44, 38, 56
[1]*L. flavum* L.	2.5–3.0/1.5	до 27.7 26.6–31.9	4.6 8.4	2.3 4.7	18.3 26.1	55.1 37.9	18.1 22.7	AT	α-токоферол, γ-токоферол α-tocopherol, γ-tocopherol	42, 44, 16

Таблица 2. Продолжение

[1]*L. thracicum* Degen	2.5–3.0/1.5	25.3–29.7	4.5–4.9	1.8–2.5	15.9–18.9	55.5–57.2	16.1–19.4	AT	α-токоферол, γ-токоферол α-tocopherol, γ-tocopherol	44, 38
[4]*L. ucranicum* (Griseb. ex Planch.) Czern.	2.9–3.0/1.5	до 33.5	–	–	–	–	–	–	–	42
[4]*L. uralense* Juz.	2.5–3.0/1.5	до 27	–	–	–	–	–	–	–	42
[4]*L. tauricum* Willd.	3.0–3.5/ 2.0–3.0	27.6–30.9	4.2–4.6	1.8–2.1	17.9–18.3	54.2–58.0	15.3–19.3	AT	α-токоферол, γ-токоферол α-tocopherol, γ-tocopherol	44, 38
[4]*L. czernjajevii* Klok.	2.5–3.0/1.5	до 38.6	–	–	–	–	–	–	–	42
[4]*L. elegans* Spruner ex Boiss.	2.5–3.0/1.5	29.2	4.6	2.2	18.8	56.0	16.7	AT	α-токоферол, γ-токоферол α-tocopherol, γ-tocopherol	44, 38
[4]*L. capitatum* Kit. ex Schult.	2.9–3.0/1.5	22.53 30.2	4.1	2.2	18.9	56.7	16.1	AT	α-токоферол, γ-токоферол α-tocopherol, γ-tocopherol	46, 44, 38
[1]*L. campanulatum* L.	2.9–3.0/1.5	32.5	4.6	1.9	17.1	55.7	18.7	AT	α-токоферол, γ-токоферол α-tocopherol, γ-tocopherol	44, 38
[2]*L. nodiflorum* L.	2.5/1.5	32.0–32.7	7.1–7.6	2.6–2.8	28.7–35.4	49.4–55.1	4.2–4.3	AT	α-токоферол, γ-токоферол α-tocopherol, γ-tocopherol	44, 38
[1]*L. hirsutum* L.	2.5–3/1.5	до 32.4 28.7	3.0–3.6 6.5	1.1–1.3 2.7	7.1–9.5 22.5	53 23.9 17.1	61.7–63.8 48.7	AN/ADN	γ-токоферол, δ-токоферол γ-tocopherol, δ-tocopherol	42, 44, 16, 38

Таблица 2. Окончание

[1]*L. lanuginosum* Juz.	2.5–3.0/1.5	до 24.5	–	–	–	–	–	–	–	42
[4]*L. suffruticosum* L.	2–3/1.0–1.5	29.1	4.4	2.3	7.8	80.7	3.8	0	γ-токоферол γ-tocopherol	44, 38
[1]*L. tenuifolium* L.	2–3/1.0–1.5	28.8–32.5	4.1–4.7 5.8	2.0–2.5 5.4	8.4–12.5 8.3	67–69 78.1–81.4 69.7	1.8–3.4 3.1	0	α-токоферол, γ- токоферол α-tocopherol, γ-tocopherol	42, 44, 16, 38
[2]*L. corymbulosum* Reichenb.	1.4–1.7/ 0.6–0.7	до 25.27	–	–	–	–	–	AN/ADN, AT, DBBL	–	42, 38
[2]*L. strictum* L.	1.5–1.7/ 0.6–0.8	–	11.7	6.3	13.4	41.2	27.3	–	–	16
[2]*L. trigynum* L.	1.1–1.2/ 0.2–0.5	30.7	5.7	2.4	6.9	28.6	54.9	AT	γ-токоферол, δ- токоферол γ-tocopherol, δ-tocopherol	44
[2]*L. aristatum* Engelm.	1.1–1.2/ 0.2–0.5	–	7.7	3.3	15.0	64.6	9.3	–	–	16
[2]*L. hudsonioides* Planch.	1.1–1.2/ 0.2–0.5	–	9.2	3.7	21.5	62.9	2.7	–	–	16
[2]*L. catharticum* L.	1–1.5/0.5	до 25.6	11.4	7.1	27.3	25.9	28.4	AT, DBBL	–	42, 16, 38

Примечание. Прочерк означает отсутствие данных. 0 – не обнаружено достаточного для анализа количества лигнанов.
PA – пальмитиновая кислота, SA – стеариновая, OA – олеиновая, LA – линолевая и ALA – α-линоленовая кислоты. Если данные по содержанию отдельных жирных кислот обнаружены в разных источниках, они приводятся в разных строках: в первой – содержание кислот по данным П.Д. Соколова [42], во второй – по данным L.Velasco и F. Goffman [44], в третьей – N.S. Plaha с соавторами [16].
AN/AND – лигнаны арилнафталинового/арилдигидронафталинового типа; AT – лигнаны арилтетралинового типа; DBBL – лигнаны дибензилбутиролактонового типа; FF – фурофуранолигнаны.
Notes. A dash means the absence of the component. 0 – the amount of lignans sufficient for analysis was not detected.
PA – palmitic acid, SA – stearic acid, OA – oleic acid, LA – linoleic acid and ALA – α-linolenic acid. If data on the content of individual fatty acids are found in different sources, they are given in different lines: in the first – the acid content according to P.D. Sokolov [42], in the second – according to L. Velasco and F. Goffman [44], in the third – N.S. Plaha et al. [16].
AN/AND – Arylnaphthalen/-dihydronaphthalene lignans; AT – ariltetraline lignans; DBBL – dibenzylbutyrolactone lignans; FF – furofuran type lignans.

использовать семена, отношение n-6/n-3 ПНЖК в которых ниже 4.0 [16, 18].

T.J. Schmidt с соавторами [38, 39] исследовали 42 вида (с подвидами и разновидностями) рода *Linum* и выявили в их семенах 24 типа лигнанов. По содержанию лигнанов, относящихся к тому или иному типу, T.J. Schmidt с соавторами разделяют исследованные виды на группы. Так, этими авторами были отмечены виды, содержащие в качестве преобладающих лигнаны арилнафталенового типа (AN, самый известный представитель – юстицидин B); виды с основными лигнанами арилтетралинового типа (AT, подофиллотоксин и его производные); и два вида, а именно *L. usitatissimum* и его ближайший родственник, *L. bienne* Mill., содержащие в качестве основных лигнанов дибензилбутиролактоны (DBBL) и фурофураны (FF) соответственно [38, 39].

Выявлено, что лигнаны накапливаются не только в семенах, но и в других органах представителей рода *Linum* [34, 35, 48, 49]. Удалось подобрать оптимальные условия для увеличения содержания вторичных метаболитов в культурах тканей дикорастущих видов этого рода. Показано, что для выращивания культуры разных тканей *in vitro* для видов рода *Linum* хорошо подходит безгормональная среда Murashige и Skoog (MS; фотопериод 12 ч) с разными модификациями [50].

Для некоторых дикорастущих видов рода *Linum* изучен жирокислотный состав [16, 42, 44] масла. В надземных частях некоторых дикорастущих представителей рода *Linum* обнаружены: белки, витамины, алкалоиды, флавоноиды, сапонины, кумарины, дубильные вещества, пигменты, лигнаны [42–47]. Витамины обнаружены не только в семенах (витамины A, B_2, E), но также в листьях *L. perenne* (витамин C) и надземных частях *L. ausrtiacum* (витамины C, E, P) [42, 43]. Из цветков *L. perenne*, *L. ausrtiacum*, *L. hirsutum*, *L. pubescens*, *L. tenuifolium* и *L. catharticum* выделено эфирное масло [42, 65].

СЕКЦИЯ *ADENOLINUM* (REICHENB.) JUZ.
(в полном объеме содержит 28 видов [41])

Слизесодержащие клетки семенной кожуры и эпидермы листьев. Изучено строение слизесодержащих клеток листьев и семян *L. austriacum* и *L. perenne*, относящихся к этой секции [7]. В листьях *L. perenne* обнаружено достаточно редкое явление: слизь находится не только около внутренней, но еще и у наружной стенки клеток в виде тонкой полосы. В семенах *L. austriacum* и *L. perenne* в слизи на полутонких срезах можно обнаружить 3 слоя, которые не разделены клеточной стенкой. Кремний в слизи, а также в клеточных стенках слизесодержащих клеток листьев *L. austriacum* и *L. perenne* обнаружен в виде отдельных микрокристаллов или их групп. В слизепроизводящих клетках семян соединения кремния в кристаллической форме обнаружены также в клеточных стенках и в цитоплазме *L. austriacum*, а также в выростах наружных клеточных стенок у *L. perenne*. Соединения кремния в аморфной форме обнаружены *в слизи семян L. perenne*.

Компонентный состав семян более или менее подробно изучен у 9 представителей этой секции (см. табл. 2, 3). У некоторых видов, например, *L. austriacum* и *L. perenne*, в разных источниках приводятся разные значения содержания жирных кислот. Как правило, отношение содержания линолевой кислоты (LA) к α-линоленовой кислоте (ALA) у всех видов секции, кроме *L. macrorhizum* Juz. (= *L. mesostylum* Juz.), меньше 4.0 и колеблется в пределах 1.8–2.9. Согласно исследованию F. Oppedisano et al. [18], семена всех исследованных видов секции, кроме *L. macrorhizum*, можно использовать в пищу без риска осложнений сердечно-сосудистых заболеваний.

Лигнаны. В литературе встречаются сведения разной полноты о компонентном составе надземных частей 14 видов из этой секции. В работах T.J. Schmidt с соавторами [38, 39] изучены семена 8 видов (*L. perenne*, *L. ausrtiacum*, *L. lewisii*, *L. alpinum*, *L. leonii*, *L. meletonis*, *L. altaicum* и *L. glaucum*), которые мы относим к секции *Adenolinum*. Как показали исследования [38, 39, 51–53], в надземных и подземных органах этих видов в основном продуцируются лигнаны арилнафталенового типа, из которых самым распространенным и хорошо изученным является юстицидин B (4,5-диметокси-3',4'-метилендиокси-2,7'-циклолигна-7,7'-диено-9,9'-лактон) (рис. 1). Впервые юстицидин B был выделен из клеточных культур корней *L. ausrtiacum* [50].

Отметим, что у некоторых представителей секции *Adenolinum* обнаружены лигнаны и других типов, но в небольших количествах. Так, в семенах *L. perenne*, *L. ausrtiacum* и *L. meletonis*, помимо подавляющего большинства лигнанов арилнафталинового типа, обнаружено также не-

Таблица 3. Компонентный состав надземных и подземных частей дикорастущих представителей рода *Linum*
Table 3. Component composition of aboveground and underground parts of wild *Linum* species

Вид Species	Белки Proteins	Цианогенетические глюкозиды Cyanogenetic glucosides	Эфирное масло Essential oil	Алкалоиды Alkaloids	Флавоноиды Flavonoids	Сапонины Saponins	Кумарины Coumarins	Дубильные вещества Tanins	Пигменты Pigments	Литературные источники Literature
L. austriacum L.	–	–	+	+ (1)	–	–	–	–	+ (каротин) (carotene)	42
L. perenne L.	25%	линамарин, линустатин linamarin, linustatin	+	+ (1)	+ (1c)	–	–	–	–	42, 45
L. baicalense Juz.	+	–	–	–	–	–	–	–	–	42, 43
L. komarovii Juz.	–	–	–	–	+ (1c)	–	–	–	–	42
L. pallescens Bunge	–	–	–	0.09% (1)	–	–	–	–	–	42
L. amurense Alef.	–	–	–	–	–	+ (1) + (2)	+	–	–	71
L. flavum L.	–	–	–	+ (1)	+	–	–	–	–	42
L. hypericifolium Salisb.	–	–	–	0.75% (1)	+	+ (2)	–	–	–	42
L. pubescens	–	–	+	–	–	–	–	–	–	65
L. hirsutum L.	–	–	–	+ (1)	+	–	–	–	–	42
L. heterosepalum Regel	–	–	–	0.06% (1) 0.06% (2)	–	+ (2)	–	–	–	42
L. olgae Juz.	–	–	–	0.2 (1a) 1.13 (1b, 1c)	–	+ (1c)	+ (1b, 1c)	+ (1c)	–	42
L. tenuifolium L.	–	–	+	–	–	–	–	–	–	42
L. catharticum L.	0.5%	–	0.15%	–	–	–	–	–	2%	42

Примечание. 1 – в надземной части, 1a – в стеблях, 1b – в листьях, 1c – в цветках, 2 – в подземной части. Прочерк означает отсутствие данных.
Notes. 1 – in the aboveground parts: 1a – in stems, 1b – in leaves, 1c – in flowers, 2 – in the underground parts. A dash means the absence of the component.

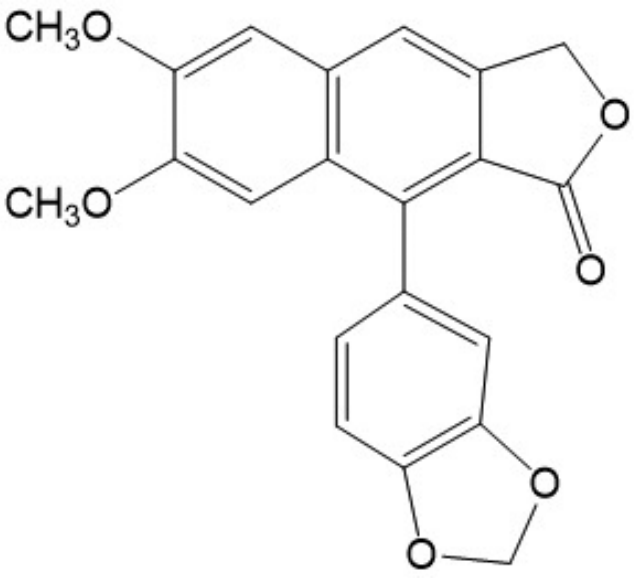


Рис. 1. Структура юстицидина В.
Fig. 1. Structure of justicidin B.

значительное количество лигнанов арилтетралинового и дибензилбутиролактонового типов (см. табл. 2). Известно также, что в культуре клеток корней *in vitro L. perenne* обнаружены юстицидин В, изоюстицидин В, ретрогелиоксантин, линоксепин, дифиллин (арилнафталеновый тип лигнанов) и лигнан арилтетралинового типа – 6-метоксиподофиллотоксин (6-МРТОХ) [51, 52]. С другой стороны, в культуре клеток волосистых корней этого вида *in vitro*, юстицидина В накапливается до 37 мг/г от массы сухого материала. Это значение, по крайней мере, в 2–3 раза выше, чем в культурах *in vitro* корней *L. austriacum* [50, 53]. Клеточные культуры *L. austriacum* продуцируют разное количество юстицидина В. Так, выявлено, что волосистые корни (через 30 дней), корневища (через 30 дней), а также суспензия (через 12 дней) и каллус (через 30 дней), полученные из проростков, могут давать, соответственно, 16.9, 12.5, а также 6.7 и 2.9 мг/г юстицидина В от массы сухого материала. Базальную среду MS с 0.4 мг/л нафталинуксусной кислоты (α-NAA) в качестве единственного регулятора роста растений сравнивали со средой MS, содержащей 1 мг/л α-NAA, 0.5 мг/л кинетина, 0.5 мг/л 2,4дихлорфеноксиуксусной кислоты (2,4-D) и 15% (v/v) кокосового молока. В клеточных суспензионных культурах *L. austriacum* использование α-NAA в качестве единственного регулятора привело к увеличению накопления юстицидина В в 3.7 раза [50].

T.J. Schmidt с соавторами [38] не обнаружили в семенах *L. glaucum* достаточного для анализа количества лигнанов. A. Mohagheghzadeh с соавторами [54], изучавшие компонентный состав каллусных культур и культур проростков *L. glaucum in vitro*, обнаружили лигнаны. Авторы заключили, что *L. glaucum* по своему компонентному составу близок к *L. austriacum*. Изучение гербарных материалов, включая типовой, по этим двум видам показало, что *L. glaucum* не заслуживает статуса отдельного вида, его следует рассматривать как подвид *L. austriacum* – *L. austriacum* subsp. *glaucescens* (Boiss.) P.H. Davis [41].

Известно, что для большинства изученных видов (*L. altaicum*, *L. lewisii*, *L. komarovii*, *L. anglicum*, *L. alpinum* и *L. leonii*) секции *Adenolinum* содержание юстицидина В в семенах составляет 0.1–1 мг/г, а у *L. extraaxillare* и *L. pallescens* – 1–3 мг/г от массы сухого материала [39].

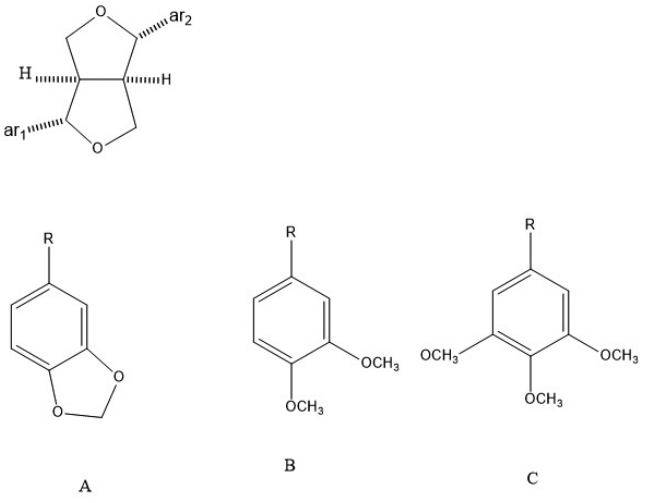
СЕКЦИЯ LINUM
(типовая подсекция рода, сюда относится и *L. usitatissimum*)

Секция в своем полном объеме насчитывает около 50 видов, достаточно неоднородна: ее представители хорошо различаются между собой по ряду морфологических признаков, типу жизненной формы и своему хромосомному набору [1]. Данные по компонентному составу семян представителей этой секции представлены в таблице 2. Как правило, отношение LA с n-6 к ALA с n-3 у всех изученных видов секции, кроме *L. bienne* и *L. narbonense*, больше 4.0, поэтому использовать их семена в пищу нужно с осторожностью (большая нагрузка на сердечно-сосудистую систему).

Обнаруженные в литературе сведения по содержанию и накоплению лигнанов у видов секции *Linum* также фрагментарны. Больше всего получено данных о лигнанах, накапливаемых в семенах 6 представителей (*L. monogynum* Hort. ex Rchb., *L. olympicum* Boiss., *L. bungei* Boiss., *L. bienne*, *L. decumbens* и *L. grandiflorum*) этой секции, в исследовании T.J. Schmidt с соавторами [38]. Большинство из исследованных видов содержало в качестве основных лигнаны арилнафталенового типа, чаще всего – юстицидин В. Известно, что максимальный выход юстицидина В в каллусных культурах клеток *L. narbonense* составил 1.57 мг/г от массы сухого материала [34]. В семенах *L. decumbens* юстицидина В содержится

менее 0.1 мг/г от массы семян [55]. В каллусных клеточных культурах *L. grandiflorum* накапливаются лигнаны арилнафталинового типа [56]. Отметим, что T.J. Schmidt с соавторами [38] не обнаружили в семенах *L. grandiflorum* достаточного для анализа количества лигнанов. Не обнаружены лигнаны и в семенах *L. monogynum* [38].

T.J. Schmidt с соавторами [38] выяснили, что семена *L. usitatissimum* содержат в качестве характерного лигнана сезоизоларицирезинол диглюкозид (SDG). В семенах *L. bienne* (близкого дикорастущего родственника льна культурного) обнаружены фурофуранолигнаны (FF). Представители этого типа лигнанов не были обнаружены больше ни у одного из исследованных дикорастущих представителей рода *Linum*, относящихся к разным секциям [38]. С другой стороны, каллусная культура *L. bienne* не продуцирует лигнаны арилтетралинового типа [54]. Авторы отмечают, что промежуточные соединения между фурофуранами (рис. 2) и дибензилбутиролактонами, такие, например, как дибензилбутансекоизоларицирезинол, накапливаются в виде диглюкозидов в семенах *L. usitatissimum*. Таким образом, *L. usitatissimum* и *L. bienne* по типу накапливаемых в них лигнанов, являются уникальными [38].



	ar1	ar2
1	A	A
2	A	B
3	B	B
4	A	C
5	B	C

Рис. 2. Структурная формула фурофуранолигнанов [38].
Fig. 2. Structure of furofuran lignans [38].

СЕКЦИЯ *STELLEROLINUM* JUZ. EX PROBAT.

L. stelleroides ранее рассматривался в группе льнов с голубыми цветками, но критическая обработка его морфологических признаков и признаков генома подтверждают его обособленное положение в системе рода *Linum* [57]. Отношение содержания линолевой кислоты (LA) к α-линоленовой кислоте (ALA) у всех видов секции меньше 4.0 (2.1). Единственный представитель этой секции также накапливает лигнаны арилнафталинового типа [38]. Так, в семенах *L. stelleroides* обнаружен юстицидин B в количестве до 0.1–1 мг/г от массы семян [49].

СЕКЦИЯ *SYLLINUM* GRISEB.

В своем полном объеме насчитывает до 15 видов, достаточно неоднородна: ее представители хорошо различаются между собой по ряду морфологических признаков и типу жизненной формы.

Изучено строение слизесодержащих клеток листьев и семян *L. flavum* и *L. czernjajevii* Klok., относящихся к этой секции [7]. *У L. czernjajevii*, имеющего опушенные листья, слизь обнаружена не только в клетках эпидермы, но и в базальных частях волосков. Слизь неоднородна, в ней хорошо видны слои. Кремний в слизи, а также в клеточных стенках слизесодержащих клеток листьев *L. flavum* обнаружен в виде отдельных микрокристаллов или их групп. В слизепроизводящих клетках семян соединения кремния в кристаллической форме обнаружены в слизи и цитоплазме у *L. flavum*, в слизи и клеточных стенках – у *L. czernjajevii*. Кроме того, у *L. czernjajevii* в слизепроизводящих клетках эпидермы листьев имеется слой в виде тонкой полосы, образованный кристаллическим кремнием. Соединения кремния в аморфной форме обнаружены в клеточных стенках листьев *L. czernjajevii* [7].

Сведения о компонентном составе семян представителей этой секции также фрагментарны (см. табл. 2). Интересно отметить, что, в отличие от представителей всех остальных секций, у которых максимальным содержанием отличается LA, а ALA накапливается в меньшем количестве, представители секции *Syllinum* отличаются максимальным содержанием ALA, а LA содержат в меньшем количестве. Такое же содержание этих жирных кислот отмечено еще для

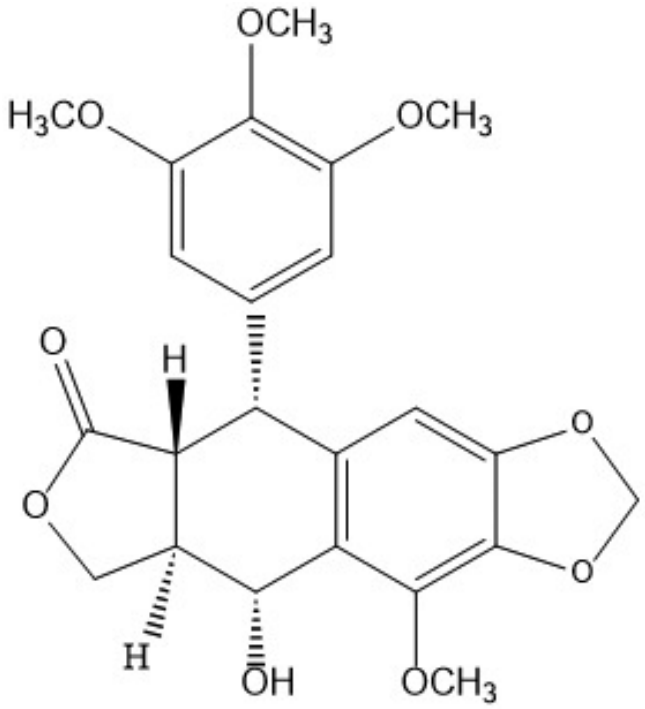


Рис. 3. Структурная формула 6-метоксиподофиллотоксина.
Fig. 3. Structure of 6-methoxypodophyllotoxin.

представителей секции *Linopsis*. Тем не менее, отношение ALA к LA у исследованных представителей секции *Syllinum* не превышает 4.0, колеблется в районе значений 3. *L. uralense* Juz. рассматривается нами как подвид *L. ucranicum* Czern. [42].

Больше сведений обнаружено о лигнанах, накапливаемых в надземных и подземных органах представителей этой секции [38, 39, 48, 55, 58–61]. T.J. Schmidt с соавторами [38, 39] исследовали семена 17 представителей (включая подвиды) этой секции. Ими в семенах, помимо разных лигнанов арилнафталинового типа, еще обнаружены лигнаны арилтетралинового и дибензилбутиролактонового типа, но в незначительных количествах [38]. Согласно сводке "Растительные ресурсы России" [48], *L. flavum* содержит фенолы и их производные: кониферин, конифериловый спирт; лигнаны: 7,6-дигидроксибурсехернин, пинорезинол, матаирезинол, ларицирезинол, секоизоларицирезинол, деметоксисекоизоларицирезинол, α-пельтатин, β-пельтатин, 5-метоксиподофиллотоксин; *L. tauricum* из лигнанов содержит 41-деметил-6-метоксиподофиллотоксин. Из дихлорметанового экстракта семян *L. flavum* var. *compactum* методом колоночной хроматографии был выделен 6-метоксиподофиллотоксин-7-О-*н*-гексаноат [58]. A.J. Broomhead и P.M. Dewick [59] из экстрактов *L. flavum*, *L. flavum* var. *compactum* и *L. capitatum* Kit. ex Schult. выделили большие количества цитотоксичных арилтетралиновых лигнанов, структурно связанных с подофиллотоксином: 5-метоксиподофиллотоксин, его глюкозид и ацетат являются основными компонентами как корней, так и стебля/листьев *L. flavum* и *L. flavum* var. *compactum*, корни содержат до 3.5% этих соединений от массы сухого сырья. Было показано, что 5-метоксиподофиллотоксин и его глюкозид были обнаружены в корнях *L. capitatum*. Стебли и листья этого вида продуцируют α- и β-пельтатины, а также их 5-О-глюкозиды. Конифериловый спирт и кониферин присутствовали во всех образцах исследованных растений.

Из надземных частей *L. mucronatum* subsp. *orientale* впервые выделен 6-MeO-α-пельтатин [60]. С использованием высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ-ESI /MS и ВЭЖХ-UV /DAD) подробно изучен компонентный состав надземных частей представителей секции *Syllinum* (*L. tauricum* subsp. *tauricum*, subsp. *serbicum*, subsp. *bulgaricum*; *L. linearifolium*; *L. elegans*; *L. flavum* subsp. *sparsiflorum*, *L. capitatum* var. *laxiflorum*), произрастающих в Болгарии [61]. Всего было идентифицировано 22 различных лигнана, в основном арилтетралинового типа, из которых основным является 6-метоксиподофиллотоксин (рис. 3) и его глюкозид (присутствовали во всех образцах). Из культуры клеток придаточных корней *L. dolomiticum* Borbás были получены подофиллотоксин, 6-метоксиподофиллотоксин и 6-метоксиподофиллотоксин-7-О-β-глюкозид [62].

СЕКЦИЯ *TUBILINUM* SVETLOVA

L. nodiflorum L. – единственный представитель этой секции, ранее рассматривался вместе с другими желтоцветковыми представителями в секции *Syllinum*. Как показали L. Velasco и F. Goffman [44], по компонентному составу семян *L. nodiflorum* отличается от представителей этой секции.

В семенах *L. nodiflorum*, помимо разных лигнанов арилнафталинового типа, еще обнаружены лигнаны арилтетралинового и дибензилбутиролактонового типа, но в незначительных количествах [38]. Суспензионные культуры растительных клеток *L. flavum*, *L. nodiflorum* и *L. album* использованы для характеристики роста

и продукции цитотоксических лигнанов, а также для изучения биосинтеза этих лигнанов. Показано, что в культуре клеток *L. nodiflorum* всего за девять дней культивирования содержание 6-метоксиподофиллотоксина может достичь до 1.7% от массы сухого материала. Биосинтез подофиллотоксина и 6-метоксиподофиллотоксина следует за образованием первого арилтетралинового лигнана дезоксиподофиллотоксина. Гидроксилирование в положении 7 дезоксиподофиллотоксин-7-гидроксилазой приводит к образованию подофиллотоксина. Гидроксилирование в положении 6 монооксигеназой цитохрома P450 дезоксиподофиллотоксин 6-гидроксилазой приводит к образованию β-пельтатина, который далее метилируется S-аденозилметионином: β-пельтатин 6-О-метилтрансферазой до β-пельтатин-метилового эфира, а затем гидроксилируется до 6-метоксиподофиллотоксина. Как подофиллотоксин, так и 6-метоксиподофиллотоксин сохраняются в вакуолях в виде глюкозидов. Определенные ферменты этих превращений были выделены и охарактеризованы из клеточных культур изученных видов рода *Linum* [63]. Показано также, что накопление 6-метоксиподофиллотоксина в культурах клеток *L. nodiflorum* можно значительно увеличить [64]. Так, было исследовано влияние синтетических элиситоров инданоил-изолейцина и метилжасмоната (MeJA) на накопление и биосинтез лигнанов в клеточных суспензионных культурах *L. nodiflorum*. Показано, что выработка 6-метоксиподофиллотоксина (6-MPTOX) может быть увеличена более чем в десять раз, максимальное содержание достигает более 2.5% от массы сухого материала. Максимальный выход 6-MPTOX был достигнут при введении 50 мкм синтетических элиситоров на четвертый день и экстрагировании продуктов на десятый день периода культивирования. Помимо 6-MPTOX в культурах, обработанных элиситором, обнаружился дополнительный лигнан. Его структуру выяснили с использованием измерений ЯМР в формате 1D и 2D и выявили его идентичность 5'-деметокси-MPTOX (5'-dMPTOX). Среднее содержание 5'-dMPTOX составляло более 5% от массы сухого материала. Метилжасмонат оказывал умеренное стимулирующее действие на клетки *L. nodiflorum*, содержание MPTOX и 5'-dMPTOX достигало 1.4 и 2.1% от массы сухого материала соответственно. Активность дезоксиподофиллотоксин-6-гидроксилазы и бета-пельтатин-6-О-метилтрансферазы, двух ферментов, участвующих в биосинтезе MPTOX, была увеличена в обработанных культурах в 21.9 и 14.6 раз соответственно [64].

СЕКЦИЯ *DASYLINUM* (PLANCH.) JUZ.

Изучено строение слизесодержащих клеток листьев и семян *L. hirsutum* L. [7]. У *L. hirsutum*, имеющего опушенные листья, слизь обнаружена не только в клетках эпидермы, но и в базальных частях волосков. В слизи на полутонких срезах можно выделить 2 слоя, не разделенных клеточной стенкой. Кремний в слизи, а также в клеточных стенках слизесодержащих клеток листьев обнаружен в виде отдельных микрокристаллов или их групп. Крупные кристаллы кремния были обнаружены только в семенах *L. hirsutum* в дополнительной клеточной стенке, отделяющей цитоплазму от слизи. Эти кристаллы имеют продолговатую форму, расположены вдоль клеточной стенки и занимают две трети ее толщины. Соединения кремния в аморфной форме обнаружены в наружной клеточной стенке в семенах *L. hirsutum* [7].

Летучие компоненты надземных цветущих частей *L. pubescens* Willd. ex Schult. были собраны методом гидродистилляции и проанализированы методом газовой хроматографии (GC и GC/MS). Анализ позволил идентифицировать 68 компонентов в эфирном масле этого вида, из которых в качестве основных компонентов были обнаружены геранилизовалерат (18.93%), лауриновая кислота (12.07%), гермакрен D (10.61%), декановая кислота (8.07%), 6,10,14-триметил-2-пентадеканон (5.02%) и 1-гексанол (4.99%) [65].

L. viscosum L. не содержал определяемых количеств лигнанов при выбранных условиях аналитических исследований [38].

СЕКЦИЯ *MACRANTHOLINUM* JUZ.

К этой секции относят два вида рода *Linum* из Ср. Азии: *L. olgae* Juz. и *L. heterosepalum* Regel. В народной медицине их применяют при кишечных заболеваниях и лечении ожогов [42]. Дополнительные данные приводятся в табл. 3.

СЕКЦИЯ *LINOPSIS* (REICHENB.) ENGELM.

Очень интересная и неоднородная, с точки зрения систематики и компонентного состава, секция. Насчитывает в полном объеме около

40 видов, большая часть которых распространена в Европе и Америке [1, 66].

Изучено строение слизесодержащих клеток листьев и семян *L. tenuifolium* L. [7]. Слизесодержащие клетки находятся как в верхней, так и в нижней эпидерме листьев и располагаются поодиночке или небольшими группами; семенная кожура полностью состоит из этих клеток. Слизь на полутонких срезах однородная, слоев не выявлено. Интересно отметить, что кремний у *L. tenuifolium* обнаружен только в крахмальных зернах клеток мезофилла листьев и только в аморфной форме [7].

Сведения о компонентном составе семян представителей этой секции фрагментарны (табл. 2). Представители этой секции, так же, как и виды из секции *Syllinum*, отличаются от представителей других секций содержанием ALA и LA. Кроме того, отношение ALA к LA у большинства изученных видов этой секции сильно превышает требуемый показатель 4.0. Исключение составляют *L. trigynum* L. и *L. strictum* L. Семена этих видов можно употреблять в пищу без риска сердечно-сосудистых осложнений.

L. suffruticosum L. не содержал определяемых количеств лигнанов при выбранных условиях аналитических исследований [38]. В каллусах и проростках *L. tenuifolium* обнаружены лигнаны

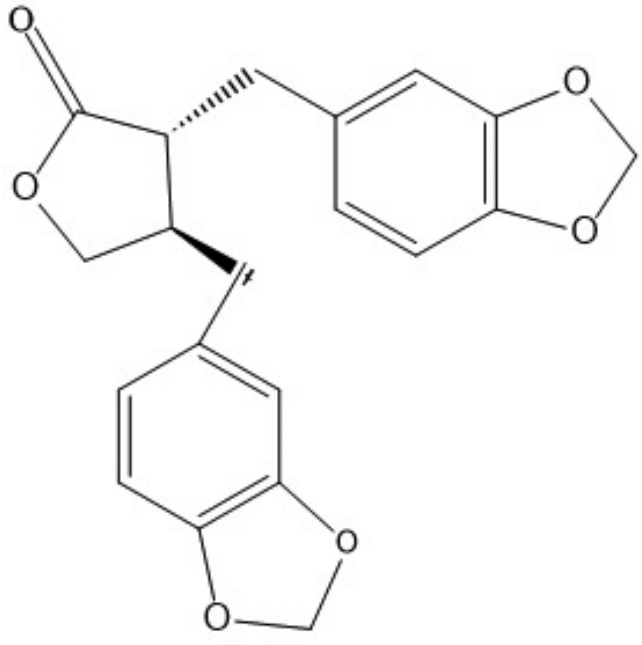


Рис. 4. Структурная формула (−)-хинокинина.
Fig. 4. Structure of (−)-hinokinin.

арилнафталинового типа. Длина проростков *L. tenuifolium* в темноте была значительно выше ($p < 0.01$), чем в условиях освещения [54].

В семенах *L. trigynum* обнаружены лигнаны арилнафталинового, арилтетралинового и дибензилбутиролактонового типов [38]. В экстрактах этого вида (PE, CHCl3, AcOEt и n-BuOH) идентифицировали флавоноиды (40 соединений), фенольные кислоты (18) и их производные (19 соединений) [67]. В семенах *L. corymbulosum* Reichenb. обнаружены лигнаны арилнафталинового, арилтетралинового и дибензилбутиролактонового типов [38]. U. Bayindir с соавторами [68] установили, что биологически активный лигнан (−)-хинокинин **(**$C_{20}H_{18}O_6$; (3R,4R)-3,4-Бис(бензо[d][1,3]диоксол-5-илметил)дигидрофуран-2(3H)-он**)** может быть выделен из культур *in vitro L. corymbulosum* (рис. 4).

SUBGENUS *CATHARTOLINUM* (REICHENB.) SVETLOVA

Изучено строение слизесодержащих клеток листьев и семян единственного представителя этого подрода – *L. catharticum* L. [7]. Следует отметить, что в слизесодержащих клетках листьев *L. catharticum* обнаружена дополнительная клеточная стенка, разграничивающая 2 слоя слизи, что больше не было обнаружено ни у одного другого из изученных видов. В семенах *L. catharticum* имеются 2 разновидности слизепроизводящих клеток, различающиеся размерами: более крупные (14.2 мкм в высоту) и более мелкие (4.1 мкм в высоту). В обоих случаях количество слизи незначительное. Кремний в клеточных стенках слизесодержащих клеток листьев обнаружен в виде отдельных микрокристаллов или их групп. В слизепроизводящих клетках семян соединения кремния в кристаллической форме обнаружены в цитоплазме. Соединения кремния в аморфной форме обнаружены в слизи клеток эпидермы листьев *L. catharticum*.

Компонентный состав семян этого вида приведен в таблицах 2 и 3. У *L. catharticum* зафиксирован самый высокий уровень (27.0%) олеиновой кислоты [16]. В надземных частях *L. catharticum* обнаружены углеводы и родственные соединения [42]. В семенах *L. catharticum*, помимо разнообразных лигнанов арилтетралинового типа, у образцов из Швеции и Ирана обнаружены еще лигнаны дибензилбутиролактонового типа, но в незначительных количествах [38].

БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ДИКОРАСТУЩИХ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ РОДА *LINUM*

Лен используется в восточной и европейской медицине с давних времен. В тибетской медицине виды рода *Linum*, известные под названием “zar-ma”, применяют как противокашлевое, седативное и мочегонное средство. Используют масло, надземную часть *L. usitatissimum* и *L. perenne*. У *L. baicalense* Juz., по одним сведениям, используют семена и надземную часть, по другим – только его цветки [42, 69–71]. В Китае, Европе и Индии семена льна считают мягчительным и противовоспалительным средством, используемым при гастрите, поносе, геморрое, расстройствах менструального цикла [71].

L. perenne применяют как отхаркивающее средство; используют при неврастении, олигурии; в китайской медицине – как обволакивающее, противовоспалительное, и при диарее. В Монголии и Индии жирное масло, семена и надземную часть *L. baicalense* применяют местно, в виде растирания при невралгических болях, миозитах [42, 70].

В народной медицине семена *L. macrorhyzum* используют при заболеваниях кишечника, высоком артериальном давлении, а масло при – ожогах, женских заболеваниях и лучевых поражениях кожи. Также, местные жители употребляют жирное масло семян в пищу, а семена используют как корм для птиц и скота. Жмых, в котором содержится до 30% протеина, – прекрасный корм для животных. *L. heterosepalum*, *L. olgae* и *L. altaicum* в народной медицине используют при кишечных заболеваниях и при ожогах [42, 72, 73].

СЕКЦИЯ *ADENOLINUM* (REICHENB.) JUZ.

Корни *L. austriacum* и *L. euxinum* Juz. (синоним *L. squamulosum* Rudolphi) в эксперименте проявляли дрожжестатическую активность [42]. Лигнаны дифиллин и юстицидин B, содержащиеся в надземных частях *L. perenne* и *L. austriacum*, проявляют антивирусную активность и эффективны против SARS-Cov-2 [74]. Каллусные и суспензионные культуры *L. narbonense* и *L. leonii*, благодаря наличию юстицидина B, проявляли цитотоксическую активность [49].

Для *L. stelleroides* (секция ***Stellerolinum***) данные по биологической активности отсутствуют.

СЕКЦИЯ *LINUM*

Корни *L. nervosum* Waldst. et Kit. в эксперименте проявляли дрожжестатическую активность [42]. Каллусные клеточные культуры *L. grandiflorum* накапливают лигнаны арилнафталинового типа, экстракты которых проявляли в эксперименте антиоксидантную и противоопухолевую активности [56].

СЕКЦИЯ *SYLLINUM* GRISEB.

В эксперименте изучено обезболивающее воздействие мази, содержащей в составе 10%-й водный экстракт *L. album* L., на перелом дистального отдела лучевой кости [75].

Согласно сводке “Растительные ресурсы России” [48], водный экстракт корней *L. flavum* проявляет антибактериальную активность, а эфирный и спиртовой экстракты – антибактериальную и антифунгальную активности. В эксперименте 41-деметил-6-метоксиподофиллотоксин из *L. tauricum* оказывает цитотоксическое действие в отношении клеток линий HL-60, BV-173 и LAMA-84 [30]. Было показано, что метанольные экстракты из турецкого вида *L. arboreum* L. обладают сильной антиоксидантной активностью [76].

Для *L. nodiflorum* (секция ***Tubilinum***) данные по биологической активности отсутствуют.

СЕКЦИЯ *DASYLINUM* (PLANCH.) JUZ.

Выделенное эфирное масло *Linum pubescens* проявляло высокую антимикробную активность в отношении грамположительных бактерий (*Bacillus cereus* ATCC 11778, *Enterococcus faecalis* ATCC 29212 и *Staphylococcus aureus* ATCC 2923) и проявляло умеренную антимикробную активность в отношении грамотрицательных бактерий (*Escherichia coli* ATCC 25922, *Enterococcus faecalis* ATCC 13048 и *Klebsiella pneumoniae* ATCC 10031) [65].

Для *L. olgae* и *L. heterosepalum* (секция ***Macrantholinum***) данные по биологической активности отсутствуют.

СЕКЦИЯ LINOPSIS (REICHENB.) ENGELM.

Экстракты *Linum trigynum* (PE, $CHCl_3$, AcOEt и n-BuOH) проявляют высокую антиоксидантную активность благодаря наличию флавоноидов,

фенольных кислот и их производных [67]. Показано, что этилацетатные экстракты *L. numidicum* Murb. (EAELN) и *L. trigynum* (EAELT) проявляют противоопухолевую активность через остановку клеточного цикла и индукцию апоптоза клеточных линий PC3 и MDA-MB-231. EAELN обладал самой высокой антипролиферативной активностью в отношении линий PC3 (IC_{50} = 133 ± 5.7 мкг/мл) и MDA-MB-231 (IC_{50} = 157 ± 2.8 мкг/мл). EAELN также продемонстрировал лучшую апоптотическую активность, вызывая остановку клеточного цикла клеток PC3 в фазе G2/M, тогда как остановку в фазах G0/G1 и G2/M наблюдали после обработки EAELT. Профилирование экстрактов с помощью LC-HRMS/MS выявило присутствие известных соединений, которые могут быть ответственны за наблюдаемую противоопухолевую активность, таких как цикориевая кислота, висенин-2, витексин и подофиллотоксин-β-d-глюкозид. EAELN можно рассматривать как источник для лечения рака [77].

В экстрактах *Linum corymbulosum* обнаружен (−)-хинокинин, который оказался наиболее мощным средством против вируса гепатита B человека среди 25 протестированных соединений и обладает противовоспалительным и анальгетическим эффектами. Он проявляет значительную трипаноцидную активность в отношении *Trypanosoma cruzi*, возбудителя болезни Шагаса, проявляет антигенотоксическую активность в периферической крови крыс линии Вистар и антибактериальную и антифунгальную активности против *Candida albicans* [68].

Для *L. catharticum* (**Subgenus *Cathartolinum***) данные по биологической активности отсутствуют.

Запасы сырья представителей рода *Linum* изучены недостаточно. В литературе обнаружены сведения о *L. macrorizum*, *L. amurense* (*L. perenne*) и *L. olgae*. По мнению Х.Х. Садикова [72], в Таджикистане запас растительного сырья более или менее достаточен только для *L. macrorizum*, для *L. olgae* – сырье собирается в недостаточном количестве. А. И. Шретер [71] отмечает, что сбор запасов сырья *L. amurense* (Дальний Восток) хотя бы до 1 т затруднителен.

Лигнаны часто извлекают из растений, которые в природных условиях характеризуются небольшим ареалом, небольшим числом особей в сообществе и очень низкими урожаями. Культуры тканей *in vitro* можно рассматривать в качестве инструмента для крупномасштабного производства полезных для медицины лигнанов. Определены условия, позволяющие увеличивать продуцирование лигнанов в культурах клеток *in vitro*. Для увеличения выработки вторичных метаболитов в клеточных культурах корней и культурах клеток каллуса некоторых видов рода *Linum* использовали метилжасмонат (MeJA). Так, в культурах клеток *in vitro L. lewisii* [78], *L. grandiflorum* [78, 79], *L. austriacum* [50], *L. perenne* [51, 79] и *L. thracicum* [81] удалось увеличить продукцию юстицидина B, а в культурах клеток *L. nodiflorum* – 6-метоксиподофиллотоксина [64]. Кроме того, показано, что некоторые дикорастущие виды хорошо поддаются интродукции [82–84] и введению в культуру *de novo* [78]. Используя эти сведения, можно ожидать расширение изучения состава дикорастущих представителей рода *Linum* с возможным дальнейшим использованием их в медицине.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обобщены сведения о компонентном составе и биологической активности семян или экстрактов 54 дикорастущих видов рода *Linum*, относящихся к 2 подродам и 8 секциям. Несмотря на то, что изучены представители практически всех существующих на данный момент секций рода *Linum*, в литературе обнаружили сведения только для части всех известных видов. Так, для представителей секции *Adenolinum*, насчитывающей в полном объеме 28 видов, удалось собрать разрозненные сведения только о 15 видах с подвидами; для представителей секции *Linum* (около 50 видов) – 9 видов; секции *Syllinum* (15 видов) – 13 видов с подвидами; секции *Dasillinum* (по разным сведениям от 4 до 9 видов в полном объеме) – 4 вида с подвидами; секции *Linopsis* (около 40 видов) – 8 видов. Приведены данные по компонентного составу и биологической активности для *L. stelleroides* Planch. из монотипной секции *Stellerolinum* Juz. ex Probat., *L. nodiflorum* L. из монотипной секции *Tubilinum* Svetlova, *L. heterosepalum* Regel и *L. olgae* Juz. из олиготипной секции *Macrantholinum* Juz., а также для *L. catharticum* L. из отдельного подрода *Cathartolinum* (Rechenb.) Svetlova.

В надземных частях изученных дикорастущих представителей рода *Linum* обнаружены: слизи (листья и семена), белки (семена), витамины (листья, семена), алкалоиды, флавоноиды, сапонины, кумарины, дубильные вещества, пигменты, цианогенетические глюкозиды и лигнаны, в подземных частях – алкалоиды, сапони-

ны, кумарины и лигнаны. Из надземных цветущих частей *L. perenne*, *L. ausrtiacum*, *L. hirsutum*, *L. pubescens*, *L. tenuifolium* и *L. catharticum* выделено эфирное масло.

Семена изученных дикорастущих представителей рода *Linum* достигают (1.1)2–5(6) мм в длину, (0.7)1–3(4) мм в ширину. Интересно отметить, что масло, полученное из семян некоторых дикорастущих видов (например, *L. austriacum* L., *L. perenne* L., *L. lewisii* Pursh., *L. pallescens* Bunge и *L. bienne* Mill.), по содержанию жирных кислот не уступает маслу, выделенному из семян *L. usitatissimum*. Известно, что для снижения риска сердечнососудистых заболеваний у населения в его рационе должны присутствовать семена, отношение n-6/n-3 ПНЖК в которых ниже 4.0. Отметим, что в семенах большинства исследованных дикорастущих видов рода *Linum* этот показатель ниже или равен 4.0. *L. lewisii* и *L. bienne* рассматриваются как потенциальные кандидаты для применения их в диетическом питании. Отношение n-6/n-3 ПНЖК выше значения 4.0 отмечено для семян *L. marginale* и *L. grandiflorum* из секции *Linum*; *L. nodiflorum*; *L. tenuifolium*, *L. suffruticosum*, *L. aristatum* и *L. hudsonioides* из секции *Linopsis*; *L. macrorhizum* из секции *Adenolinum*. Следовательно, семена этих видов нужно использовать в пищу с осторожностью.

Было обнаружено, что *L. lewisii* и *L. marginale* отличаются максимальным содержанием α-линоленовой кислоты (65.4 и 62.8% соответственно), *L. tenuifolium* – линолевой (69.7%), а *L. catharticum* – олеиновой кислоты (27.0%). Выявлено, что у представителей секций *Syllinum* и *Linopsis*, в отличие от видов других секций, содержание ALA ниже, чем LA.

Различия между видами разных секций заключаются в типах продуцируемых лигнанов. Так, виды секций *Syllinum*, *Linopsis* и *L. catharticum* преимущественно накапливают лигнаны арилтетралинового (AT) типа. Представители секций *Adenolinum*, *Linum* и *Dasylinum* содержат, в основном, арилнафталеновые (AN) и арилдигидронафталиновые (ADN) лигнаны (типичный представитель юстицидин B). Наблюдаются отличия в количестве накапливаемых лигнанов в разных частях растения. В семенах шести видов рода *Linum* (*L. viscosum*, *L. decumbens*, *L. glaucum* (= *L. austriacum* subsp. *glaucescens* (Boiss.) P.H. Davis), *L. grandiflorum*, *L. monogynum* и *L. suffruticosum*) не обнаружено определяемого количества лигнанов. Перечисленные виды относятся к разным секциям, и эти сведения в дальнейшем можно использовать для уточнения вопросов систематики, эволюции и родственных связей внутри рода *Linum*.

Показано, что виды, отличающиеся широким ареалом и большим содержанием лигнанов арилдигидронафталинового (ADN) типа (юстицидин B), например *L. austriacum* и *L. perenne*, проявляют противовирусную активность и эффективны против SARS-Cov-2. Представители желтоцветковых льнов из секции *Syllinum*, у которых преобладающим типом лигнанов является арилтетралиновый (AT) (например, 6-метоксиподофиллотоксин и его производные), проявляют антираковую активность. *L. corymbulosum* из секции *Linopsis*, содержащий (–)-хинокинин, может быть перспективным источником отечественной фармацевтической субстанции растительного происхождения для последующего всестороннего изучения как дополнительного средства против вируса гепатита B человека.

Наиболее полно исследованы компонентный состав и биологическая активность у представителей секций *Adenolinum*, *Syllinum* и *Linopsis*. Для *L. squamulosum* (= *L. euxinum* Juz.), *L. nervosum* и *L. arboreum* в литературе обнаружены данные только по биологической активности, компонентный состав этих видов не изучали. Нет подробных данных о компонентном составе *L. olgae* и *L. heterosepalum* (секция *Macrantholinum*), *L. nodiflorum* (секция *Tubilinum*), *L. hypericifolium* (секция *Dasylinum*). Отсутствуют данные по биологической активности *L. olgae*, *L. heterosepalum*, *L. nodiflorum*, *L. stelleroides* и *L. catharticum* (Subgenus *Cathartolinum*). Не обнаружено никаких сведений по компонентному составу и биологической активности для кавказского вида *L. seljukorum* P.H. Davis из монотипной секции *Heleolinum* T.V. Egorova.

Таким образом, дальнейшие исследования компонентного состава и биологической активности разных дикорастущих видов рода *Linum* L. (Linaceae DC. ex Perleb) перспективно для получения новых сведений как для хемосистематики, так и для расширения арсеналов эффективных лекарственных препаратов. Особенно это касается неизученных или слабо изученных дикорастущих видов.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена в рамках госзадания Ботанического института им. В.Л. Комарова РАН (тема “Сосудистые растения Евразии: систематика, флора, растительные ресурсы” № АААА-А19-119031290052-1).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Светлова А.А.* 2009. Таксономический обзор рода *Linum* L. (Linaceae) флоры России и сопредельных государств. – Новости систематики высших растений. 41: 99–165. https://elibrary.ru/item.asp?id=15103291
2. *Светлова А.А.* 2007. Род *Linum* L. во флоре Сибири и Монголии. – В кн.: Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии: Материалы 6-й междунар. научно-практ. конф. (Барнаул, 25–28 октября 2007 г.). Барнаул. С. 54–59. http://elibrary.asu.ru/xmlui/handle/asu/262
3. *Светлова А.А.* 2008. Род *Linum* L. во флоре Центральной Азии. – В кн.: Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии: Материалы 7-й междунар. научно-практ. конф. (Барнаул, 21–24 октября 2008 г.). Барнаул. С. 299–302. http://elibrary.asu.ru/xmlui/handle/asu/274
4. *Зеленцов С.В., Зеленцов В.С., Мошненко Е.В., Рябенко Л.Г.* 2016. Современные представления о филогенезе и таксономии рода *Linum* L. и льна обыкновенного (*Linum usitatissimum* L.). – Масличные культуры. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур. 1(165): 106–121. https://elibrary.ru/item.asp?id=26136641
5. *Эллади Е.В.* 1940. Сем. Linaceae (DC.) Dumort. – Льновые. – В кн.: Культурная флора СССР (Прядильные). М.; Л., Т. 5. Ч. 1. С. 97–206.
6. *Chishty S., Bissu M.* 2016. Health benefits and nutritional value of flaxseed – a review. – Indian J. Appl. Res. 6(1): 243–245. https://www.worldwidejournals.com/indian-journal-of-applied-research-(IJAR)/fileview/January_2016_1453271124__72.pdf
7. *Светлова А.А., Яковлева О.В.* 2010. Сравнительная характеристика слизепроизводящих клеток некоторых видов рода *Linum* (Linaceae) флоры России. – Раст. ресурсы. 46(2): 1–12. https://elibrary.ru/item.asp?id=17028755
8. *Оводов Ю.С.* 1998. Полисахариды цветковых растений: структура и физиологическая активность. – Биоорган. химия. 24(7): 483–501. http://www.rjbc.ru/arc/24/7/0483-0501.pdf
9. *Naran R., Chen G., Carpita N.C.* 2008. Novel Rhamnogalacturonan I and arabinoxylan polysaccharides of flax seed mucilage. – Plant Physiol. 148(1): 132–141. https://doi.org/10.1104/pp.108.123513
10. *Пясяцкене А.П.* 1994. Водорастворимые полисахариды растений, их локализация, биологическое и хозяйственное значение: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Вильнюс. 74 с. Расширенная антация на английском и литовском языках.
11. *Оленников Д.Н., Танхаева Л.М.* 2007. Исследование процесса экстракции полисахаридов семян льна (*L. usitatissimum* L.). – Химия раст. сырья. 4: 79–83. https://elibrary.ru/item.asp?id=9570134
12. *Troshchynska Y., Bleha R., Synytsya A., Štětina J.* 2022. Chemical composition and rheological properties of seed mucilages of various yellow- and brown-seeded flax (*Linum usitatissimum* L.) cultivars. – Polymers. 14(10): 2040. https://doi.org/10.3390/polym14102040
13. *Dorrell D.G.* 1970. Distribution of fatty acids within the seed of flax. – Can. J. Plant Sci. 50(1): 71–75. https://cdnsciencepub.com/doi/pdf/10.4141/cjps70-011
14. *Жамалова Д.Н., Тожибаев К.Ш., Журамуродов И.Ж.* 2020. Виды семейства Linaceae во флоре Узбекистана: распространение, химический состав и полезные свойства. – Хабарнома. Биологик тадқиқотлар (Научный вестник. Биологические исследования). 4(48): 16–27. https://www.ajbiological.uz/article/698420925089/pdf
15. *Mueed A., Shibli S., Korma S.A., Madjirebaye P., Esatbeyoglu T., Deng Z.* 2022. Flaxseed bioactive compounds: chemical composition, functional properties, food applications and health benefits-related gut microbes. – Foods. 11(20): 3307. https://doi.org/10.3390/foods11203307

16. *Plaha N.S., Kaushik N., Awasthi S., Singh M., Kaur V., Langyan S., Kumar A., Kalia S.* 2023. Comparison of nutritional quality of fourteen wild Linum species based on fatty acid composition, lipid health indices, and chemometric approaches unravelling their nutraceutical potential. – Heliyon. 9(11): e21192. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e21192

17. *Akter Y., Junaid M., Afrose S.S., Nahrin A., Alam M.S., Sharmin T., et al.* 2021. A comprehensive review on *Linum usitatissimum* medicinal plant: its phytochemistry, pharmacology, and ethnomedicinal uses. – Mini Rev. Med. Chem. 21(18): 2801–2834. https://doi.org/10.2174/1389557521666210203153436

18. *Oppedisano F., Macrì R., Gliozzi M., Musolino V., Carres C., Maiuolo J., et al.* 2020. The anti-inflammatory and antioxidant properties of n-3 PUFAs: their role in cardiovascular protection. – Biomedicines. 8(9): 306. https://doi.org/10.3390/biomedicines8090306

19. *Mowry K.C., Thomson-Parker T.L., Morales C., Fikes K.K., Stutts K.J., Leatherwood J.L., et al.* 2022. Effects of crude rice bran oil and a flaxseed oil blend in young horses engaged in a training program. – Animals. 12(21): 3006. https://doi.org/10.3390/ani12213006

20. *Madhusudhan K.T., Singh N.* 1985. Effect of detoxification treatment on the physicochemical properties of linseed proteins. – J. Agricultur. Food Chem. 33(6): 1219–1222. https://doi.org/10.1021/jf00066a051

21. *Yoon J.H., Jang W.Y., Park S.H., Kim H.G., Shim Y.Y., Reaney M.J.T., Cho J.Y.* 2023. Anti-melanogenesis effects of a cyclic peptide derived from flaxseed via inhibition of CREB pathway. – Int. J. Mol. Sci. 24(1): 536. https://doi.org/10.3390/ijms24010536

22. *Singh K.K., Mridula D., Rehal J., Barnwal P.* 2011. Flaxseed: A potential source of food, feed and fiber. – Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 51: 210–222. https://doi.org/10.3390/ijms24010536

23. *Vassel B., Nesbitt L.L.* 1945. The nitrogenous constituents of flaxseed. II. The isolation of a purified protein fraction. – J. Biol. Chem. 3(159): 571–584. https://doi.org/10.1016/S0021-9258(17)41562-6

24. *Li X., Li J., Dong S., Li Y., Wei L., Zhao C., et al.* 2019. Effects of germination on tocopherol, secoisolarlciresinol diglucoside, cyanogenic glycosides and antioxidant activities in flaxseed (*Linum usitatissimum* L.). – Int. J. Food Sci. Technol. 54(7): 2346–2354. https://doi.org/10.1111/ijfs.14098

25. *Rafieian-Kopaei M., Shakiba A., Sedighi M., Bahmani M.* 2017. The analgesic and anti-inflammatory activity of *Linum usitatissimum* in Balb/c mice. – J. Evid. Based Complementary Altern. Med. 22(4): 892–896. https://doi.org/10.1177/2156587217717416

26. *Ansari R., Zarshenas M.M., Dadbakhsh A.H.* 2019. A review on pharmacological and clinical aspects of *Linum usitatissimum* L. – Curr. Drug. Discov. Technol. 16(2): 148–158. https://doi.org/10.2174/1570163815666180521101136

27. *Poljšak N., Kreft S., Kočevar Glavač N.* 2020. Vegetable butters and oils in skin wound healing: Scientific evidence for new opportunities in dermatology. – Phytother. Res. 34(2): 254–269. https://doi.org/10.1002/ptr.6524

28. *Vlčková R., Sopková D., Andrejčáková Z., Lecová M., Fabian D., Šefčíková Z., et al.* 2022. Dietary supplementation of flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) alters ovarian functions of xylene-exposed mice. – Life. 12(8): 1152. https://doi.org/10.3390/life12081152

29. *Sirotkin A.V.* 2023. Influence of Flaxseed (*Linum usitatissimum*) on female reproduction. – Planta Med. 89(6): 608–615. https://doi.org/10.1055/a-2013-2966

30. *Shama S.N., Sravanthi C., Pranitha D., Pavan D.P., Ravali V., Kumar P.S.* 2022. Antidiabetic activity of ethanol extract of leaves of flax plant (*Linum usitatissimum* L.). – World J. Biol. Pharm. Health Sci. 12(03): 365–369. https://doi.org/10.30574/wjbphs.2022.12.3.0275

31. *Mohamed H.H., Alomair N.A., Akhtar S., Youssef T.E.* 2019. Eco-friendly synthesized α-Fe_2O_3/TiO_2 heterojunction with enhanced visible light photocatalytic activity. – J. Photochem. Photobiol. A. 382: 111951. https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2019.111951

32. *Mohamed H.H., Besisa D.H.A.* 2023. Eco-friendly and solar light-active Ti-Fe_2O_3 ellipsoidal capsules' nanostructure for removal of herbicides and organic dyes. – Environ. Sci. Pollut. Res. 30(7): 17765–17775. https://doi.org/10.1007/s11356-022-23119-0

33. *Alfermann A., Petersen M., Fuss E.* 2003. Production of natural products by plant cell biotechnology: Results, problems and perspectives. – In: Plant Tissue Culture. Springer, Vienna. P. 153–166. https://doi.org/10.1007/978-3-7091-6040-4_9

34. *Hemmati S., Seradj H.* 2016. Justicidin B: a promising bioactive lignan. – Molecules. 21(7): 820. https://doi.org/10.3390/molecules21070820

35. *Kartal M., Konuklugil B., Indrayanto G., Alfermann A.* 2004. Comparison of different extraction methods for the determination of podophyllotoxin and 6-methoxypodophyllotoxin in *Linum* species. – J. Pharm. Biomed. Analysis. 35(3): 441–447. https://doi.org/10.1016/j.jpba.2004.01.016

36. *Ockendon D.J., Walters S.M.* 1968. *Linum* L. – In: Flora Europaea. Cambridge. Vol. 2. P. 206–211.

37. *McDill J., Repplinger M., Simpson B.B., Kadereit J.W.* 2009. The phylogeny of *Linum* and Linaceae subfamily Linoideae, with implications for their systematics, biogeography, and evolution of heterostyly. – Syst. Bot. 34(2): 386–405. https://doi.org/10.1600/036364409788606244

38. *Schmidt T.J., Hemmati S., Klaes M., Konuklugil B., Mohagheghzadeh A., Ionkova I., Fuss E., Alfermann A.W.* 2010. Lignans in flowering aerial parts of *Linum* species – Chemodiversity in the light of systematics and phylogeny. – Phytochem. 71(14–15): 1714–1728. https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2010.06.015

39. *Schmidt T.J., Klaes M., Sendker J.* 2012. Lignans in seeds of *Linum* species. – Phytochem. 82: 89–99. https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2012.07.004

40. *Юзепчук С.В.* 1949. Сем. Льновые – Linaceae Dumort. – В кн.: Флора СССР. М.; Л. Т. 14. С. 84–146.

41. *Науменко-Светлова А.А.* 2016. Таксономический обзор видов секции *Adenolinum* (Rchb.) Juz. рода *Linum* L. (Linaceae). – Новости систематики высших растений. 47: 40–84. https://elibrary.ru/item.asp?id=27538770

42. *Соколов П.Д.* 1988. Сем. Linaceae S.F. Gray – Льновые. – В кн.: Растительные ресурсы СССР: Цветковые растения, их химический состав, использование; Т. 4. Семейства Rutaceae – Elaeagnaceae. Л. С. 27–29.

43. *Хайдав Ц., Алтанчимэг Б., Варламова Т.С.* 1985. Лекарственные растения в монгольской медицине. Изд. 2, переработанное. Улан-Батор. 380 с.

44. *Velasco L., Goffman F.* 2000. Tocopherol, plastochromanol and fatty acid patterns in the genus *Linum*. – Plant Syst. Evol. 221: 77–88. https://doi.org/10.1007/BF01086382

45. *Станков С.С.* 1944. Дикорастущие масличные растения СССР и их практическое использование. М. 78 с.

46. *Шарапов Н.И.* Новые жиромасличные растения / Под ред. М.М. Ильина. М.; Л., 1956. 111с.

47. *Innes P., Gossweiler A., Jensen S., Tilley D., St. John L., Jones T., Kitchen S., Hulke B.S.* 2022. Assessment of biogeographic variation in traits of Lewis flax (*Linum lewisii*) for use in restoration and agriculture. – AoB Plants. 14(2): plac005. https://doi.org/10.1093/aobpla/plac005

48. *Повыдыш М.Н., Битюкова Н.В.* 2010. Пор. Linales. – В кн.: Растительные ресурсы России: Дикорастущие цветковые растения, их компонентный состав и биологическая активность. Т. 3. Семейства Fabaceae–Apiaceae / Отв. ред. А.Л. Буданцев. СПб.; М. С. 111–112.

49. *Vasilev N.P., Ionkova I.* 2005. Cytotoxic activity of extracts from *Linum* cell cultures. – Fitoterapia. 76(1): 50–53. https://doi.org/10.1016/j.fitote.2004.10.008

50. *Mohagheghzadeh A., Schmidt T.J., Alfermann A.W.* 2002. Arylnaphthalene lignans from in vitro cultures of *Linum austriacum*. – J. Nat. Prod. 65(1): 69–71. https://doi.org/10.1021/np0102814

51. *Hemmati S., Schmidt T.J., Fuss E.* 2007. (+)-Pinoresinol/(–)-lariciresinol reductase from *Linum perenne* Himmelszelt involved in the biosynthesis of justicidin B. – FEBS Lett. 581(4): 603–610. https://doi.org/10.1016/j.febslet.2007.01.018

52. *Jullian-Pawlicki N., Lequart-Pillon M., Huynh-Cong L., Lesur D., Cailleu D., Mesnard F., et al.* 2015. Arylnaphthalene and aryltetralin-type lignans in hairy root cultures of *Linum perenne*, and the stereochemistry of 6-methoxypodophyllotoxin and one diastereoisomer by HPLC-MS and NMR spectroscopy. – Phytochem. Anal. 26(5): 310–319.
https://doi.org/10.1002/pca.2565

53. *Mascheretti I., Alfieri M., Lauria M., Locatelli F., Consonni R., Cusano E., et al.* 2021. New insight into justicidin B pathway and production in *Linum austriacum*. – Int. J. Mol. Sci. 22(5): 2507.
https://doi.org/10.3390/ijms22052507

54. *Mohagheghzadeh A., Dehshahri S., Hemmati S.* 2009. Accumulation of lignans by *in vitro* cultures of three *Linum* species. – Z. Naturforsch. CJ. Biosci. 64(1–2): 73–76.
https://doi.org/10.1515/znc-2009-1-213

55. *Konuklugil B., Ionkova I., Vasilev N., Schmidt T.J., Windhövel J., Fuss E., Alfermann A.W.* 2007. Lignans form *Linum* species of sections *Syllinum* and *Linum*. – Nat. Prod. Res. 21(1): 1–6.
https://doi.org/10.1080/14786410600798385

56. *Asad B., Khan T., Gul F. Z., Ullah M.A., Drouet S., Mikac S., et al.* 2021. Scarlet flax *Linum grandiflorum* (L.) *in vitro* cultures as a new source of antioxidant and anti-inflammatory lignans. – Molecules. 26(15): 4511.
https://doi.org/10.3390/molecules26154511

57. *Bolsheva N.L., Melnikova N.V., Dvorianinova E.M., Mironova L.N., Yurkevich O.Y., Amosova A.V., et al.* 2022. Clarification of the position of *Linum stelleroides* Planch. – Plants. 11(5): 652.
https://doi.org/10.3390/plants11050652

58. *Klaes M., Ellendorff T., Schmidt T.J.* 2009. 6-Methoxypodophyllotoxin-7-O-n-hexanoate, a new aryltetralin lignan ester from seeds of *Linum flavum*. – Planta Medica. 76(7): 719–721.
https://doi.org/10.1055/s-0029-1240674

59. *Broomhead A.J., Dewick P.M.* 1990. Aryltetralin lignans from *Linum flavum* and *Linum capitatum*. – Phytochemistry. 29(12): 3839–3844.
https://doi.org/10.1016/0031-9422(90)85343-E

60. *Zare Kh., Movafeghi A., Mohammadi S.A., Asnaashari S., Nazemiyeh H.* 2014. New phenolics from *Linum mucronatum* subsp. *orientale*. – Bioimpacts. 4(3): 117–122. https://doi.org/10.15171/bi.2014.004

61. *Vasilev N., Ebel R., Edrada R., Fuss E., Alfermann A.W., Ionkova I., et al.* 2008. Metabolic profiling of lignan variability in *Linum* species of section *Syllinum* native to Bulgaria. – Planta Med. 74(3): 273–280.
https://doi.org/10.1055/s-2008-1034298

62. *Alfieri M., Mascheretti I., Kentsop R.A.D., Consonni R., Locatelli F., Mattana M., Ottolina G.* 2021. Enhanced aryltetralin lignans production in *Linum* adventitious root cultures. – Molecules. 26(17): 5189.
https://doi.org/10.3390/molecules26175189

63. *Kranz K., Petersen M.* 2003. β-Peltatin 6-O-methyltransferase from suspension cultures of *Linum nodiflorum*. – Phytochemistry. 64(2): 453–458. https://doi.org/10.1016/s0031-9422(03)00196-1

64. *Berim A., Spring O., Conrad J., Maitrejean M., Boland W., Petersen M.* 2005. Enhancement of lignan biosynthesis in suspension cultures of *Linum nodiflorum* by coronalon, indanoyl-isoleucine and methyl jasmonate. – Planta. 222(5): 769–776.
https://doi.org/10.1007/s00425-005-0019-9

65. *Al-Qudah M.A.* 2012. Chemical composition and antimicrobial activity of the essential oil of *Linum pubescens* growing wild in Jordan. –Nat. Prod. Res. 27(12): 1141–1144.
https://doi.org/10.1080/14786419.2012.715291

66. *Rogers C.M.* 1984. Linaceae S.F. Gray. – In: North American Flora. Series II. Part 12. New York. 58 p.

67. *Mouna R., Kabouche Z., Bensouici C., Broisat A., Ahmed A., Ghezzi C.* 2023. Phytochemical profiling and antioxidant activity of *Linum trigynum*. – Nat. Prod. Res.
https://doi.org/10.1080/14786419.2023.2218010

68. *Bayindir U., Alfermann A.W., Fuss E.* 2008. Hinokinin biosynthesis in *Linum corymbulosum* Reichenb. – Plant J. 55(5): 810–820.
https://doi.org/10.1111/j.1365-313X.2008.03558.x

69. *Баторова С.М., Яковлев Г.П., Асеева Т.А.* 2013. Справочник лекарственных растений традиционной тибетской медицины. Новосибирск. 292 с.

70. *Ligaa U., Davaasuren B., Ninjil N.* 2009. Medicinal plants of Mongolia used in Western and Eastern Medicine. Moscow. 378 p.

71. *Шретер А.И.* 1975. Семейство Льновые – Linaceae. – В кн.: Лекарственная флора Советского Дальнего Востока. М. С. 169–170.

72. *Садиков Х.Х.* 2017. Дикорастущие лекарственные растения бассейна реки Искандер (Таджикистан). Душанбе. 136 с.

73. *Котухов Ю.А., Данилова А.Н., Кубентаев С.А.* 2015. Перечень лекарственных растений Казахстанского Алтая. Риддер. 156 с.

74. *Tóth G., Horváti K., Kraszni M., Ausbüttel T., Pályi B., Kis Z., et al.* 2023. Arylnaphthalene lignans with Anti-SARS-CoV-2 and antiproliferative activities from the underground organs of *Linum austriacum* and *Linum perenne*. – J. Nat. Prod. 86(4): 672–682.
https://doi.org/10.1021/acs.jnatprod.2c00580

75. The effect of *Linum album* on restoration of bone fracture. Identifier IRCT20180610040049N7. International Clinical Trails Registry Platform. 2021 https://trialsearch.who.int/Trial2.aspx?TrialID=IRCT20180610040049N7

76. *Çoban T., Konuklugil B.* 2005. Free radical scavenging activity of *Linum arboretum*. – Pharm. Biol. 43(4): 370–372.
https://doi.org/10.1080/13880200590951847

77. *Mouna R., Broisat A., Ahmed A., Debiossat M., Boumendjel A., Ghezzi C., Kabouche Z.* 2022. Antiproliferative activity, cell-cycle arrest, apoptotic induction and LC-HRMS/MS analyses of extracts from two *Linum* species. – Pharm. Biol. 60(1): 1491–1501.
https://doi.org/10.1080/13880209.2022.2102196

78. *Kentsop R.A.D., Consonni R., Alfieri M., Laura M., Ottolina G., Mascheretti I., Mattana M.* 2022. *Linum lewisii* adventitious and hairy-roots cultures as lignan plant factories. – Antioxidants. 11(8): 1526.
https://doi.org/10.3390/antiox11081526

79. *Ташлиева И.И., Гладков Е.А.* 2019. Разработка метода введения в культуру клеток и регенерации растений декоративных видов льна (*Linum grandiflorum*, *Linum perenne*). – Вестник биотехнологии и физико-химической биологии им. Ю.А. Овчинникова. 15(1): 22–24.
https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38251785

80. *Гончарук Е.А., Борисова А.Ю., Живухина Е.А.* 2019. Реакция клеток *Linum grandiflorum* L. на условия культивирования. – В сб.: Актуальные проблемы биологической и химической экологии. Сб. мат. VI Международной науч.-практ. конф.. Отв. ред. Д.Б. Петренко. С. 42–45.
https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37276111

81. *Sasheva P., Ionkova I., Stoilova N.* 2015. Methyl jasmonate induces enhanced podophyllotoxin production in cell cultures of thracian flax (*Linum thracicum* ssp. *thracicum*). – Nat. Prod. Commun. 10(7): 1225–1228.
https://doi.org/10.1177/1934578X1501000722

82. *Ибатулина Ю.В., Усманова Н.В.* 2019. Биоморфологические особенности *Linum czernjaëvii* Klokov в природных сообществах и при интродукции в Донецком ботаническом саду. – В сб.: Изучение и сохранение биоразнообразия в ботанических садах и других интродукционных центрах. Материалы научной конференции с международным участием, посвященной 55-летию Донецкого ботанического сада. С. 156–162.
https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41433788

83. *Морозова И.В., Радыгина В.И.* 2016. Декоративные дикорастущие виды растений семейств: Liliaceae, Violaceae, Campanulaceae, Linaceae во флоре Орловской области. – Актуальные проблемы естественнонаучного образования, защиты окружающей среды и здоровья человека. 2(2): 267–272.
https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26231688

84. *Ибатулина Ю.В., Остапко В.М.* 2020. Динамика интродукционных ценопопуляций *Linum nervosum* Waldst. et Kit. в искусственных степных фитоценозах в Донецком ботаническом саду. – Промышленная ботаника. 20(1): 29–40.
https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43076263

85. Plants of the World Online. https://powo.science.kew.org/

Chemical Composition And Biological Activity Of Wild *Linum* (Linaceae) Species

A. A. Naumenko-Svetlova

V. L. Komarov Botanical Institute, Russian Academy of Sciences, St.-Petersburg

**e-mail: ANaumenko@binran.ru*

Abstract – The review presents data from literature sources on the component composition and biological activity of aboveground and underground parts of wild species of the genus *Linum* L. (Linaceae DC. ex Perleb). In recent decades, studies have been carried out on the component composition of not only flaxseed oil, but also cell cultures *in vitro*. This information is especially relevant for starting herbal materials derived from wild *Linum* species with small habitats or insignificant thicket density. Currently, information on the component composition and biological activity of oils or extracts has been obtained for 54 wild *Linum* species, belonging to 8 sections of 2 subgenera. In the aboveground and underground parts of the studied wild species of the genus *Linum*, the following sunstances were found: mucilage (in leaves and seeds), proteins (in seeds), vitamins (in leaves, seeds), alkaloids, flavonoids, saponins, coumarins, tannins, pigments, cyanogenetic glucosides and lignans. Essential oil was isolated from the aboveground flowering parts of *L. perenne* L., *L. ausrtiacum* L., *L. hirsutum* L., *L. pubescens* Willd. ex Schult., *L. tenuifolium* L., and *L. catharticum* L. The chemosystematics does not contradict the system we previously compiled based on morphological, anatomical and molecular characteristics of *Linum* species. Asian and European herbal medicine traditionally uses aboveground parts of *L. perenne*, *L. baicalense* Juz., *L. altaicum* Ledeb. ex Juz., *L. olgae* Juz. and *L. heterosepalum* Regel. The seeds and fatty oil exhibit coating, wound-healing, mild laxative, and analgesic properties. Extracts of wild-growing *Linum* species, as well as their individual components, have varied bioactivity like antibacterial, antimicrobial, antifungal, yeast-static, antiviral, cytotoxic, inhibitory, antitumor, anti-inflammatory, wound healing, and antioxidant. Species characterized by a high content of aryldihydronaphthalene-type lignans (a typical representative is justicidin B) have an antiviral effect and are effective against SARS-Cov-2. The yellow-flowered *Linum* species in the section *Syllinum*, with predominant aryltetralin lignans (e.g. 6-methoxypodophyllotoxin and its derivatives), exhibit anticancer activity. In the section Linopsis, *L. corymbulosum* Reichenb., which contains (–)-hinokinin, may prove to be an object of comprehensive research as a promising source of domestic herbal substances that can be used as adjunctive treatments in the anti-hepatitis B therapy.

Keywords: wild *Linum* species, component composition, biological activity

ACKNOWLEDGEMENTS

The work was carried out within the framework of state assignments of the Komarov Botanical Institute of the Russian Academy of Sciences (no. AAAA-A19-119031290052-1).

REFERENCES

1. *Svetlova A.A.* 2009. The taxonomic review of the genus *Linum* (Linaceae) of the flora of Russia and adjacent states. – Novitates systematicae plantarum vascularium. 41: 99–165. https://elibrary.ru/item.asp?id=15103291 (In Russian)
2. *Svetlova A.A.* 2007. The genus *Linum* L. in flora of Siberia and Mongolia. – In: Problems of botany of South Siberia and Mongolia: Proceedings of the 6th Intern. sci.-pract. conf. (Barnaul, October 25–28, 2007). Barnaul. P. 54–59. http://elibrary.asu.ru/xmlui/handle/asu/262 (In Russian)
3. *Svetlova A.A.* 2008. The genus *Linum* L. in flora of Central Asia. – In: Problems of botany of South Siberia and Mongolia: Proceedings of the 7th Int. sci.-pract. conf. (Barnaul, October 21–24, 2008). Barnaul. P. 299–302. http://elibrary.asu.ru/xmlui/handle/asu/274 (In Russian)
4. *Zelentsov S.V., Zelentsov V.S., Moshnenko E.V., Ryabenko L.G.* 2016. Modern understanding of the phylogeny and taxonomy of genus *Linum* L. and flax (*Linum usitatissimum* L.). – Maslichnye kultury. 1(165): 106–121. https://elibrary.ru/item.asp?id=26136641 (In Russian)
5. *Elladi E.V.* 1940. [Family Linaceae (DC.) Dumort]. – In: [Cultivated flora of the USSR (fiber plants)]. Moscow; Leningrad. Vol. 5. Part 1. P. 97–206. (In Russian)
6. *Chishty S., Bissu M.* 2016. Health benefits and nutritional value of flaxseed – a review. – Indian J. Appl. Res. 6(1): 243–245. https://www.worldwidejournals.com/indian-journal-of-applied-research-(IJAR)/fileview/January_2016_1453271124__72.pdf
7. *Svetlova A.A., Yakovleva O.V.* 2010. Characters of mucilage sells of some species from the genus *Linum* (Linaceae) in Russia. – Rastitelnye Resursy. 46(2): 1–12. https://elibrary.ru/item.asp?id=17028755 (In Russian)

8. *Ovodov Yu.S.* 1998. Polysaccharides of Phanerogams: structure and physiological activity. – Russian J Bioorgan. Chem. 24(7): 423–439.

9. *Naran R., Chen G., Carpita N.C.* 2008. Novel rhamnogalacturonan I and arabinoxylan polysaccharides of flax seed mucilage. – Plant Physiol. 148(1): 132–141. https://doi.org/10.1104/pp.108.123513

10. *Pyasyackene A.P.* 1994. [Water soluble plant polysaccharides, their localization, biological and economical importance. Abstr. Diss. ... Cand. (Biology) Sci.]. Vilnius. 74 P. (In Lituanean with extended Russian and English abstracts)

11. *Olennikov D.N., Tankhaeva L.M.* 2007. [Studing the process of flax seeds (L. *usitatissimum* L.) polysaccharides extraction]. – Khimija rastitel'nogo syr'ja. 4: 79–83. https://elibrary.ru/item.asp?id=9570134

12. *Troshchynska Y., Bleha R., Synytsya A., Štětina J.* 2022. Chemical composition and rheological properties of seed mucilages of various yellow- and brown-seeded flax (*Linum usitatissimum* L.) cultivars. – Polymers. 14(10): 2040. https://doi.org/10.3390/polym14102040

13. *Dorrell D.G.* 1970. Distribution of fatty acids within the seed of flax. – Can. J. Plant Sci. 50(1): 71–75. https://cdnsciencepub.com/doi/pdf/10.4141/cjps70-011

14. *Jamalova D.N., Tojibaev K.Sh., Juramurodov I.J.* 2020. Species of the *Linaceae* family in the flora of Uzbekistan: distribution, chemical composition and useful properties. – Scientific Bulletin. Series: Bioiogical Research. 4(48): 16–27. https://www.ajbiological.uz/article/698420925089/pdf (In Russian)

15. *Mueed A., Shibli S., Korma S. A., Madjirebaye P., Esatbeyoglu T., Deng Z.* 2022. Flaxseed bioactive compounds: chemical composition, functional properties, food applications and health benefits-related gut microbes. – Foods. 11(20): 3307. https://doi.org/10.3390/foods11203307

16. *Plaha N.S., Kaushik N., Awasthi S., Singh M., Kaur V., et al.* 2023. Comparison of nutritional quality of fourteen wild *Linum* species based on fatty acid composition, lipid health indices, and chemometric approaches unravelling their nutraceutical potential. – Heliyon. 9(11): e21192. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e21192

17. *Akter Y., Junaid M., Afrose S.S., Nahrin A., Alam M.S., Sharmin T., et al.* 2021. A comprehensive review on *Linum usitatissimum* medicinal plant: its phytochemistry, pharmacology, and ethnomedicinal uses. – Mini Rev. Med. Chem. 21(18): 2801–2834. https://doi.org/10.2174/1389557521666210203153436

18. *Oppedisano F., Macrì R., Gliozzi M., Musolino V., Carres C., Maiuolo J., et al.* 2020. The anti-inflammatory and antioxidant properties of n-3 PUFAs: their role in cardiovascular protection. – Biomedicines. 8(9): 306. https://doi.org/10.3390/biomedicines8090306

19. *Mowry K.C., Thomson-Parker T.L., Morales C., Fikes K.K., Stutts K.J., Leatherwood J.L., et al.* 2022. Effects of crude rice bran oil and a flaxseed oil blend in young horses engaged in a training program. – Animals. 12(21): 3006. https://doi.org/10.3390/ani12213006

20. *Madhusudhan K.T., Singh N.* 1985. Effect of detoxification treatment on the physicochemical properties of linseed proteins. – J. Agricultur. Food Chem. 33(6): 1219–1222. https://doi.org/10.1021/jf00066a051

21. *Yoon J.H., Jang W.Y., Park S.H., Kim H.G., Shim Y.Y., Reaney M.J.T., Cho J.Y.* 2023. Anti-melanogenesis effects of a cyclic peptide derived from flaxseed via inhibition of CREB pathway. – Int. J. Mol. Sci. 24(1): 536. https://doi.org/10.3390/ijms24010536

22. *Singh K.K., Mridula D., Rehal J., Barnwal P.* 2011. Flaxseed: A potential source of food, feed and fiber. – Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 51: 210–222. https://doi.org/10.3390/ijms24010536

23. *Vassel B., Nesbitt L.L.* 1945. The nitrogenous constituents of flaxseed. II. The isolation of a purified protein fraction. – J. Biol. Chem. 3(159): 571–584. https://doi.org/10.1016/S0021-9258(17)41562-6

24. *Li X., Li J., Dong S., Li Y., Wei L., Zhao C., et al.* 2019. Effects of germination on tocopherol, secoisolarlciresinol diglucoside, cyanogenic glycosides and antioxidant activities in flaxseed (*Linum usitatissimum* L.). – Int. J. Food Sci. Technol. 54(7): 2346–2354. https://doi.org/10.1111/ijfs.14098

25. *Rafieian-Kopaei M., Shakiba A., Sedighi M., Bahmani M.* 2017. The analgesic and anti-inflammatory activity of *Linum usitatissimum* in Balb/c mice. – J. Evid. Based Complementary Altern. Med. 22(4): 892–896. https://doi.org/10.1177/2156587217717416

26. *Ansari R., Zarshenas M.M., Dadbakhsh A.H.* 2019. A review on pharmacological and clinical aspects of *Linum usitatissimum* L. – Curr. Drug. Discov. Technol. 16(2): 148–158. https://doi.org/10.2174/1570163815666180521101136

27. *Poljšak N., Kreft S., Kočevar Glavač N.* 2020. Vegetable butters and oils in skin wound healing: Scientific evidence for new opportunities in dermatology. – Phytother. Res. 34(2): 254–269. https://doi.org/10.1002/ptr.6524

28. *Vlčková R., Sopková D., Andrejčáková Z., Lecová M., Fabian D., Šefčíková Z., et al.* 2022. Dietary supplementation of flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) alters ovarian functions of xylene-exposed mice. – Life. 12(8): 1152. https://doi.org/10.3390/life12081152

29. *Sirotkin A.V.* 2023. Influence of Flaxseed (*Linum usitatissimum*) on female reproduction. – Planta Med. 89(6): 608–615. https://doi.org/10.1055/a-2013-2966

30. *Shama S.N., Sravanthi C., Pranitha D., Pavan D.P., Ravali V., Kumar P.S.* 2022. Antidiabetic activity of ethanol extract of leaves of flax plant (*Linum usitatissimum* L.). – World J. Biol. Pharm. Health Sci. 12(03): 365–369. https://doi.org/10.30574/wjbphs.2022.12.3.0275

31. *Mohamed H.H., Alomair N.A., Akhtar S., Youssef T.E.* 2019. Eco-friendly synthesized α-Fe_2O_3/TiO_2 heterojunction with enhanced visible light photocatalytic activity. – J. Photochem. Photobiol. A. 382: 111951. https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2019.111951

32. *Mohamed H.H., Besisa D.H.A.* 2023. Eco-friendly and solar light-active Ti-Fe_2O_3 ellipsoidal capsules' nanostructure for removal of herbicides and organic dyes. – Environ. Sci. Pollut. Res. 30(7): 17765–17775. https://doi.org/10.1007/s11356-022-23119-0

33. *Alfermann A., Petersen M., Fuss E.* 2003. Production of natural products by plant cell biotechnology: Results, problems and perspectives. – In: Plant Tissue Culture. Springer, Vienna. P. 153–166. https://doi.org/10.1007/978-3-7091-6040-4_9

34. *Hemmati S., Seradj H.* 2016. Justicidin B: a promising bioactive lignan. – Molecules. 21(7): 820. https://doi.org/10.3390/molecules21070820

35. *Kartal M., Konuklugil B., Indrayanto G., Alfermann A.* 2004. Comparison of different extraction methods for the determination of podophyllotoxin and 6-methoxypodophyllotoxin in *Linum* species. – J. Pharm. Biomed. Analysis. 35(3): 441–447. https://doi.org/10.1016/j.jpba.2004.01.016

36. *Ockendon D.J., Walters S.M.* 1968. *Linum* L. – In: Flora Europaea. Cambridge. Vol. 2. P. 206–211.

37. *McDill J., Repplinger M., Simpson B.B., Kadereit J.W.* 2009. The phylogeny of *Linum* and Linaceae subfamily Linoideae, with implications for their systematics, biogeography, and evolution of heterostyly. – Syst. Bot. 34(2): 386–405. https://doi.org/10.1600/036364409788606244

38. *Schmidt T.J., Hemmati S., Klaes M., Konuklugil B., Mohagheghzadeh A., Ionkova I., et al.* 2010. Lignans in flowering aerial parts of *Linum* species – Chemodiversity in the light of systematics and phylogeny. – Phytochem. 71(14–15): 1714–1728. https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2010.06.015

39. *Schmidt T.J., Klaes M., Sendker J.* 2012. Lignans in seeds of *Linum* species. – Phytochem. 82: 89–99. https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2012.07.004

40. *Yuzepchuk C.V.* 1949. [Flax family – Linaceae Dumort.]. – In: Flora of the USSR. Moscow; Leningrad. Vol. 14. P. 84–146. (In Russian)

41. *Naumenko-Svetlova A.A.* 2016. Taxonomic review of the genus *Linum* L. section *Adenolinum* (Rchb.) Juz. (Linaceae). – Novitates systematicae plantarum vascularium. 47: 40–84. https://elibrary.ru/item.asp?id=27538770 (In Russian)

42. *Sokolov P.D.* 1988. [Family Linaceae S. F. Gray – Flax family]. – In: [Plant Resources of the USSR: Wild flowering plants, their component composition and biological activity. Family Rutaceae – Elaeagnaceae]. Vol. 4. Leningrad. P. 27–29. (In Russian)

43. *Hajdav C., Altanchimeg B., Varlamova T.S.* 1985. [Medicinal plants in Mongolian medicine. 2nd edition.]. Ulan-Bator. 380 p. (In Russian)

44. *Velasco L., Goffman F.* 2000. Tocopherol, plastochromanol and fatty acid patterns in the genus *Linum*. – Plant Syst. Evol. 221: 77–88. https://doi.org/10.1007/BF01086382

45. *Stankov S.S.* 1944. [Wild oil plants of the USSR and their common use]. Moscow. 78 p. (In Russian)

46. *Sharapov N.I.* 1956. [New oleaginous plants]. Moscow; Leningrad. 111 p. (In Russian)

47. *Innes P., Gossweiler A., Jensen S., Tilley D., St. John L., Jones T., Kitchen S., Hulke B.S.* 2022. Assessment of biogeographic variation in traits of Lewis flax (*Linum lewisii*) for use in restoration and agriculture. – AoB Plants. 14(2): plac005. https://doi.org/10.1093/aobpla/plac005

48. *Povydysh M.N., Bityukova N.V.* 2010. [Order Linales]. – In: [Plant Resources of Russia: Wild flowering plants, their component composition and biological activity. Vol. 3. Family Fabaceae–Apiaceae]. St. Petersburg; Moscow. P. 111–112. (In Russian)

49. *Vasilev N.P., Ionkova I.* 2005. Cytotoxic activity of extracts from *Linum* cell cultures. – Fitoterapia. 76(1): 50–53. https://doi.org/10.1016/j.fitote.2004.10.008

50. *Mohagheghzadeh A., Schmidt T.J., Alfermann A.W.* 2002. Arylnaphthalene lignans from *in vitro* cultures of *Linum austriacum*. – J. Nat. Prod. 65(1): 69–71. https://doi.org/10.1021/np0102814

51. *Hemmati S., Schmidt T.J., Fuss E.* 2007. (+)-Pinoresinol/(–)-lariciresinol reductase from *Linum perenne* Himmelszelt involved in the biosynthesis of justicidin B. – FEBS Lett. 581(4): 603–610. https://doi.org/10.1016/j.febslet.2007.01.018

52. *Jullian-Pawlicki N., Lequart-Pillon M., Huynh-Cong L., Lesur D., Cailleu D., Mesnard F., et al.* 2015. Arylnaphthalene and aryltetralin-type lignans in hairy root cultures of *Linum perenne*, and the stereochemistry of 6-methoxypodophyllotoxin and one diastereoisomer by HPLC-MS and NMR spectroscopy. – Phytochem. Anal. 26(5): 310–319. https://doi.org/10.1002/pca.2565

53. *Mascheretti I., Alfieri M., Lauria M., Locatelli F., Consonni R., Cusano E., et al.* 2021. New insight into justicidin B pathway and production in *Linum austriacum*. – Int. J. Mol. Sci. 22(5): 2507. https://doi.org/10.3390/ijms22052507

54. *Mohagheghzadeh A., Dehshahri S., Hemmati S.* 2009. Accumulation of lignans by *in vitro* cultures of three *Linum* species. – Z. Naturforsch. C J. Biosci. 64(1–2): 73–76. https://doi.org/10.1515/znc-2009-1-213

55. *Konuklugil B., Ionkova I., Vasilev N., Schmidt T.J., Windhövel J., Fuss E., Alfermann A.W.* 2007. Lignans form *Linum* species of sections *Syllinum* and *Linum*. – Nat. Prod. Res. 21(1): 1–6. https://doi.org/10.1080/14786410600798385

56. *Asad B., Khan T., Gul F.Z., Ullah M.A., Drouet S., Mikac S., et al.* 2021. Scarlet flax *Linum grandiflorum* (L.) *in vitro* cultures as a new source of antioxidant and anti-inflammatory lignans. – Molecules. 26(15): 4511. https://doi.org/10.3390/molecules26154511

57. *Bolsheva N.L., Melnikova N.V., Dvorianinova E.M., Mironova L.N., Yurkevich O.Y., Amosova A.V., et al.* 2022. Clarification of the position of *Linum stelleroides* Planch. – Plants. 11(5): 652. https://doi.org/10.3390/plants11050652

58. *Klaes M., Ellendorff T., Schmidt T.J.* 2009. 6-Methoxypodophyllotoxin-7-O-n-hexanoate, a new aryltetralin lignan ester from seeds of *Linum flavum*. – Planta Medica. 76(7): 719–721. https://doi.org/10.1055/s-0029-1240674

59. *Broomhead A.J., Dewick P.M.* 1990. Aryltetralin lignans from *Linum flavum* and *Linum capitatum*. – Phytochemistry. 29(12): 3839–3844. https://doi.org/10.1016/0031-9422(90)85343-E

60. *Zare Kh., Movafeghi A., Mohammadi S.A., Asnaashari S., Nazemiyeh H.* 2014. New phenolics from *Linum mucronatum* subsp. *orientale*. – Bioimpacts. 4(3): 117–122. https://doi.org/10.15171/bi.2014.004

61. *Vasilev N., Ebel R., Edrada R., Fuss E., Alfermann A.W., Ionkova I., Petrova A., Repplinger M., Schmidt T.J.* 2008. Metabolic profiling of lignan variability in *Linum* species of section *Syllinum* native to Bulgaria. – Planta Med. 74(3): 273–280. https://doi.org/10.1055/s-2008-1034298

62. *Alfieri M., Mascheretti I., Kentsop R. A. D., Consonni R., Locatelli F., Mattana M., Ottolina G.* 2021. Enhanced aryltetralin lignans production in *Linum* adventitious root cultures. – Molecules. 26(17): 5189. https://doi.org/10.3390/molecules26175189

63. *Kranz K., Petersen M.* 2003. β-Peltatin 6-O-methyltransferase from suspension cultures of *Linum nodiflorum*. – Phytochemistry. 64(2): 453–458. https://doi.org/10.1016/s0031-9422(03)00196-1

64. *Berim A., Spring O., Conrad J., Maitrejean M., Boland W., Petersen M.* 2005. Enhancement of lignan biosynthesis in suspension cultures of *Linum nodiflorum* by coronalon, indanoyl-isoleucine and methyl jasmonate. – Planta. 222(5): 769–776. https://doi.org/10.1007/s00425-005-0019-9

65. *Al-Qudah M.A.* 2012. Chemical composition and antimicrobial activity of the essential oil of *Linum pubescens* growing wild in Jordan. – Nat. Prod. Res. 27(12): 1141–1144. https://doi.org/10.1080/14786419.2012.715291

66. *Rogers C.M.* 1984. Linaceae S. F. Gray. – In: North American Flora. Series II. Part 12. New York. 58 p.

67. *Mouna R., Kabouche Z., Bensouici C., Broisat A., Ahmed A., Ghezzi C.* 2023. Phytochemical profiling and antioxidant activity of *Linum trigynum*. – Nat. Prod. Res. https://doi.org/10.1080/14786419.2023.2218010

68. *Bayindir U., Alfermann A.W., Fuss E.* 2008. Hinokinin biosynthesis in *Linum corymbulosum* Reichenb. – Plant J. 55(5): 810–820. https://doi.org/10.1111/j.1365-313X.2008.03558.x

69. *Batorova S.M., Yakovlev G.P., Aseeva T.A.* 2013. [Reference book of traditional Tibetan medicinal plants]. Novosibirsk. 292 p. (In Russian)

70. *Ligaa U., Davaasuren B., Ninjil N.* 2009. Medicinal plants of Mongolia used in Western and Eastern Medicine. Moscow. 378 p.

71. *Shreter A.I.* 1975. [Flax family – Linaceae]. – In: [Medicinal flora of the Soviet Far East]. Moscow. P. 169–170. (In Russian)

72. *Sadikov H.H.* 2017. [Wild medicinal plants of the Iskander river basin (Tadzhikistan)]. Dushanbe. 136 s. (In Russian)

73. *Kotukhov Yu.A., Danilova A.N., Kubentaev S.A.* 2015. [List of medicinal flora of the Kazakh Altai]. Ridder. 156 s. (In Russian)

74. *Tóth G., Horváti K., Kraszni M., Ausbüttel T., Pályi B., Kis Z., et al.* 2023. Arylnaphthalene lignans with Anti-SARS-CoV-2 and antiproliferative activities from the underground organs of *Linum austriacum* and *Linum perenne*. – J. Nat. Prod. 86(4): 672–682. https://doi.org/10.1021/acs.jnatprod.2c00580

75. The effect of *Linum album* on restoration of bone fracture. Identifier IRCT20180610040049N7. International Clinical Trails Registry Platform. 2021 https://trialsearch.who.int/Trial2.aspx?TrialID=IRCT20180610040049N7

76. *Çoban T., Konuklugil B.* 2005. Free radical scavenging activity of *Linum arboretum*. – Pharm. Biol. 43(4): 370–372. https://doi.org/10.1080/13880200590951847

77. *Mouna R., Broisat A., Ahmed A., Debiossat M., Boumendjel A., Ghezzi C., Kabouche Z.* 2022. Antiproliferative activity, cell-cycle arrest, apoptotic induction and LC-HRMS/MS analyses of extracts from two *Linum* species. – Pharm. Biol. 60(1): 1491–1501. https://doi.org/10.1080/13880209.2022.2102196

78. *Kentsop R.A.D., Consonni R., Alfieri M., Laura M., Ottolina G., Mascheretti I., Mattana M.* 2022. *Linum lewisii* adventitious and hairy-roots cultures as lignan plant factories. – Antioxidants. 11(8): 1526. https://doi.org/10.3390/antiox11081526

79. *Tashlieva I.I., Gladkov E.A.* 2019. Development of the method of introduction to cells culture and plant regeneration of decorative flax (*Linum grandiflorum*, *Linum perenne*). – Yu.A. Ovchinnikov bulletin of biotechnology and physical and chemical biology. 15(1): 22–24. https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38251785 (In Russian)

80. *Goncharuk E.A., Borisova A.YU., Zhivukhina E.A.* 2019. *Linum grandiflorum* L. reaction to cultivation conditions. – In: [Contemporary problems of biological and chemical ecology: Proceedings of the VI International Scientific and Practical Conference]. Moscow. P. 42–45. https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37276111 (In Russian)

81. *Sasheva P., Ionkova I., Stoilova N.* 2015. Methyl jasmonate induces enhanced podophyllotoxin production in cell cultures of thracian flax (*Linum thracicum* ssp. *thracicum*). – Nat. Prod. Commun. 10(7): 1225–1228. https://doi.org/10.1177/1934578X1501000722

82. *Ibatulina Ju.V., Usmanova N.V.* 2019. Biomorphological features of i *Linum czernjaëvii* Klokov in natural communities and in the course of introduction in the Dinetsk Botanical Garden. – In: [Research and conservation of biodiversity in botanical gardens and other introduction centres: Proceedings of scientific conference]. Donetsk. P. 156–162. https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41433788 (In Russian)

83. *Morozova I.V., Radygina V.I.* 2016. [Wild ornamental plants of the families Liliaceae, Violaceae, Campanulaceae, Linaceae in the flora of the Orel Region]. – Aktual'nye problemy estestvennonauchnogo obrazovaniya, zashchity okruzhayushchej sredy i zdorov'ya cheloveka. 2(2): 267–272. https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26231688 (In Russian)

84. *Ibatulina Yu.V., Ostapko V.M.* 2020. Dynamics of the introduced cenopopulations of *Linum nervosum* Waldst. et Kit. in artificial steppe phytocenoses in the Donetsk Botanical Garden. – Promyshlennaya Botanika. 20(1): 29–40. https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43076263 (In Russian)

85. *Plants* of the World Online. https://powo.science.kew.org

РАСТИТЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ, 2024, том 60, вып. 1, с. 54–68

ОБЗОРЫ

УДК: 581.6; 502/504

БОРЩЕВИК СОСНОВСКОГО *HERACLEUM SOSNOWSKYI* (APIACEAE): УНИЧТОЖЕНИЕ ИЛИ РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ?

© 2024 г. Н. Н. Лунева*

Всероссийский институт защиты растений, Санкт-Петербург, Россия

**e-mail: natalja.luneva2010@yandex.ru*

Поступила в редакцию 10.05.2023 г.
После доработки 18.07.2023 г.
Принята к публикации 30.10.2023 г.

Монодоминантные заросли борщевика Сосновского *Heracleum sosnowskyi* Manden. (Apiaceae) на территории РФ инициировали поиск решений использования его фитомассы в различных отраслях хозяйства и создания препятствий для его дальнейшего распространения. Предложенные способы использования фитомассы борщевика Сосновского и технологии получения из нее полезных веществ разработаны без учета неизбежного перехода существующих без антропогенного вмешательства популяций этого вида в состояние регулярной эксплуатации, которая нарушит их возобновление, приведет к снижению урожайности и рентабельности производства. Поддерживать высокую урожайность борщевика, необходимую для его использования в качестве сырья для производства, возможно только в условиях его возделывания под жестким контролем, не допускающим его “бегства из культуры”, однако в настоящее время этот вид выведен из реестра культивируемых растений. При этом существует достаточный ассортимент альтернативных видов сырья для производства полезных веществ, которые предложено получать из борщевика Сосновского. Использование в качестве сырья огромного количества растений борщевика Сосновского в придорожных лесополосах и по берегам мелких речек настолько проблематично, что в публикациях не рассматривается, хотя именно эти экотопы являются постоянными очагами продолжающейся инвазии. Из-за неконтролируемого распространения борщевика Сосновского биоразнообразие земель сельскохозяйственного назначения, включающее дикорастущие пищевые, технические и лекарственные ресурсные виды (в том числе дикие родичи культурных растений), находится под угрозой уничтожения.

Ключевые слова: *Heracleum sosnowskyi*, биоразнообразие, контролирование инвазии, ресурсное использование

DOI: 10.31857/S0033994624010031, **EDN:** HGMWII

За период возделывания борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden. Apiaceae) в качестве силосного растения он широко распространился в Восточной Европе [1–3], однако размер его вторичного ареала до сих пор не установлен [4–8]. В настоящее время значительные по размеру площади на территории Российской Федерации покрыты монодоминантными зарослями этого инвазионного вида [9–12]. Несмотря на применяемые меры по уничтожению борщевика Сосновского, продолжается увеличение его численности в очагах заноса, а также распространение в свободные от него регионы. Поиски путей действенного контроля инвазии привели к идее использования биомассы зарослей этого растения с целью сдерживания его экспансии.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ФИТОМАССЫ БОРЩЕВИКА СОСНОВСКОГО

В период выращивания борщевика Сосновского в качестве кормовой культуры (1947–1980-е годы) были выявлены такие его качества, как холодоустойчивость, неприхотливость к условиям произрастания, быстрый рост в весенний период, образование большой зеленой массы, содержащей витамины, микроэлементы, протеин, углеводы, эфирные масла [13, 14]. Всестороннее изучение этого возделываемого растения осуществлялось и за рубежом [5, 15, 16].

В годы после прекращения возделывания борщевика Сосновского его отрицательное воздействие на биологическое разнообразие расти-

тельных сообществ, сокращение из-за распространения этого ядовитого растения площади рекреационных территорий, нанесение вреда сельскому хозяйству и здоровью людей перевесили его положительные свойства. Однако в последнее время активно развивается направление поиска различных возможностей использования его биомассы. Так, было предложено частично заменить древесное сырье при производстве внутренних слоев упаковочного картона целлюлозой, полученной из стеблей борщевика Сосновского [17]. Высокое содержание сахаров в зеленой массе инициировало исследования по получению из нее биоэтанола [18], в результате чего был получен патент на его выработку из дикорастущего и культивируемого борщевика [19]. Жом, остающийся после отжима сока из зеленой массы борщевика для получения биоэтанола и сахара, предложено силосовать вместе с силосными культурами, богатыми белком [20]. Рассматривается возможность использования в ближайшем будущем борщевика Сосновского в качестве источника эфирных масел и биологически активных веществ [21]. Показано, что обработка травостоев пектиновыми полисахаридами (регуляторами роста), в том числе, из борщевика Сосновского, значительно увеличивает урожайность второго укоса кормовых трав без влияния на качественный состав растений [22], обработка ими же семян и всходов моркови ускоряет появление всходов и увеличивает массу корнеплодов [23], а обработка этими полисахаридами клубней и проростков картофеля обеспечивает повышение урожайности и увеличение содержания в клубнях крахмала, витамина С и сухого вещества [24]. Предложено использовать скашиваемую в процессе борьбы с борщевиком Сосновского зеленую массу для изготовления органических удобрений (компоста) [25]. В прошлом веке борщевик Сосновского использовался как кормовое и силосное растение [26], но и в начале третьего тысячелетия рассматриваются возможности его выращивания в этом же качестве [27], хотя польза его неоднозначна: растение содержит много белка, но количество фурокумаринов в нем должно строго регулироваться, а силос из него рекомендовано скармливать животным, не предназначенным для получения приплода и молока [28]. Выявлены лекарственные свойства борщевика Сосновского, обусловленные содержанием фурокумаринов и кумаринов, которые проявляют противоопухолевую [29, 30] и антиоксидантную активность [31] при лечении некоторых заболеваний [32–34]. Для получения эфирных масел, пригодных для использования в качестве сырья в парфюмерной и косметической промышленности, предлагается даже восстанавливать и расширять плантации этого вида [14].

Все идеи современного практического использования зеленой массы борщевика Сосновского для получения полезной продукции базируются на существовании обширных территорий, покрытых его зарослями, которые воспринимаются как легко доступное естественно произрастающее и ежегодно самовоспроизводящееся сырье. Считается, что можно избежать расходов на его выращивание и планировать затраты только на заготовку и переработку сырья [35], причем переработка борщевика Сосновского в полезные для общества продукты рассматривается как механизм ограничения его распространения [36]. На самом деле это не так.

ПОЧЕМУ ЗАРОСЛИ БОРЩЕВИКА СОСНОВСКОГО НЕ МОГУТ БЫТЬ ЛЕГКОДОСТУПНЫМ САМОВОСПРОИЗВОДЯЩИМСЯ СЫРЬЕМ

В естественных условиях популяции борщевика Сосновского включают растения трех типов жизненных форм: поликарпические особи, плодоносящие несколько раз в течение многолетнего жизненного цикла (1.2%); монокарпические многолетние, пребывающие в вегетативном состоянии несколько лет (41.3%); монокарпические двулетние, плодоносящие и отмирающие на второй год жизни (57.5%) [13]. Двулетние растения могут находиться и в вегетативном (период от прорастания до первого цветения) и в генеративном (репродуктивном) состоянии (период образования генеративных органов) [37]. В естественных условиях популяция борщевика Сосновского поддерживается семенным возобновлением, которое обеспечивается, главным образом, монокарпическими двулетними особями, плодоносящими на втором году жизни. Кроме того, задержавшиеся в вегетативном периоде многолетние монокарпические особи через 10–12 лет переходят в генеративное состояние и обсеменяются. Свою лепту в поддержание популяции вносят и крайне редко встречающиеся поликарпические особи, плодоносящие несколько раз в течение многолетней жизни [13, 38].

При использовании зарослей борщевика Сосновского на заброшенных землях для

получения сырья, естественный процесс возобновления нарушится. Из опыта его возделывания известно, что для получения наибольшего урожая зеленой массы борщевика с сохранением наибольшего количества полезных веществ рекомендуется первый укос производить в фазе начала цветения [13], а второй – не позднее чем за месяц до наступления устойчивого похолодания [35]. Вследствие первого же скашивания, а тем более, последующих, взрослые генеративные растения борщевика перейдут на вегетативный этап развития, который затянется на несколько лет. Поступление семенного материала в почву под популяцией прекратится, что поставит под угрозу ее поддержание: ведь недаром уничтожение цветущих особей рассматривается как главный способ борьбы с обсеменением, а, значит, с распространением борщевика Сосновского [39]. При этом в первый год пользования зарослей борщевика на брошенных землях будут скошены растения, выросшие примерно из 80% семян, образовавшихся в предшествующем году. После прорастания оставшихся 20% семян семенное возобновление борщевика на этой территории практически прекратится на весь период его регулярного скашивания. Более того, получены данные, свидетельствующие о том, что основная часть семян борщевика Сосновского сохраняет жизнеспособность не более одного сезона [2]. Не исключено, что через 30–40 дней после первого скашивания из почек, расположенных в пазухах листьев ниже поверхности почвы, могут появиться боковые побеги с соцветиями [39], поскольку заложение генеративных структур у борщевиков происходит в первый год вегетации [21], но повторные скашивания не позволят образоваться и созреть семенам.

В то же время нельзя рассчитывать, что многократное ежегодное скашивание зеленой массы борщевика Сосновского на брошенных землях решит проблему сырья для производства. Первый укос составляет около 80% от общего урожая, а многократное скашивание приведет к тому, что растения уйдут под зиму неподготовленными к периоду зимнего покоя и впоследствии погибнут [13]. Кроме того, общеизвестно, что многократное скашивание представляет собой один из агротехнических приемов борьбы с сорными растениями, так как при этом происходит их истощение [40]. Также не уйти от проблемы выпадения растений борщевика в малоснежные зимы с продолжительными оттепелями [41].

Следовательно, без надлежащей поддержки, которую оказывают возделываемым растениям, используемая популяция как источник сырья вскоре потеряет свою рентабельность, ее нужно будет оставить на несколько лет для возобновления травостоя и перейти на другие территории, заросшие борщевиком. При этом затраты на заготовку сырья увеличатся за счет транспортных расходов для доставки зеленой массы из отдаленных районов к месту переработки. Следовательно, дальнейшее существование перерабатывающих предприятий будет зависеть только от возобновления возделывания борщевика Сосновского как культуры, что уже предлагалось [14]. Высказанное в публикациях стремление получать в приемлемых количествах дешевое биотопливо, которым можно обеспечить не только внутреннюю потребность, но и экспорт биоэтанола [18], может быть реализовано только при условии возвращения борщевику Сосновского статуса сельскохозяйственной культуры и возделывания его на высоком уровне агротехники [42]. Но, как известно, уже в 2013 г. сорт борщевика Сосновского “Северянин” не был включен в “Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию” [43] как утративший хозяйственную полезность. В 2014 г. из “Общероссийского классификатора продукции по видам экономической деятельности” [44] были исключены коды продукции этого растения – зеленая масса и семена, а с 2015 года борщевик Сосновского включен в “Отраслевой классификатор сорных растений Российской Федерации” [45]. Следовательно, чтобы выращивать борщевик Сосновского как культуру, необходимо вывести его из классификатора сорных растений и вновь включить коды зеленой массы и семян этого растения в “Общероссийский классификатор продукции”.

ВЕЛИКА ЛИ ПОТРЕБНОСТЬ В ФИТОМАССЕ БОРЩЕВИКА СОСНОВСКОГО ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫШЕНАЗВАННОЙ ПОЛЕЗНОЙ ПРОДУКЦИИ?

Активное обсуждение темы производства биоэтанола из борщевика Сосновского обусловлено тем, что растительное биотопливо до сих пор изготовляется в странах, его производящих, из сельскохозяйственных растений (рапса *Brassica napus* L., пшеницы *Triticum aestivum* L., кукурузы *Zea mais* L., свеклы сахарной *Beta*

vulgaris L.). Это приводит к конфликту использования сельскохозяйственных ресурсов для производства биотоплива и как источника питания для населения, поскольку это касается продовольственной безопасности стран и влияет на объем выработки пищевых продуктов, цены на продовольствие, на разнообразие возделываемых культур и структуру площадей сельскохозяйственных земель [42, 46]. При этом, с точки зрения экологии, у производства растительного биотоплива практически нет преимуществ, поскольку на получение одного литра биотоплива затрачивается столько же литров дизельного топлива для сельхозтехники, собирающей растительное сырье с полей [46]. Стремление использовать зеленую массу борщевика Сосновского для производства биотоплива с целью избавиться от этого агрессивного растения понятно [35], но, как показано выше, это приведет не к освобождению территории сельскохозяйственных земель от его зарослей, но, наоборот, будет инициировать возобновление его возделывания уже не как силосной, но как технической культуры с уходом от решения проблемы очищения территорий, охваченных инвазией этого вида.

Российская Федерация, обладающая огромными запасами углеводородов, является основным поставщиком энергетических ресурсов в мире, и здесь пока не распространено использование биоэтанола в качестве топлива для автомобилей. Тем не менее в 2009 году в России было произведено около 500 млн. л биоэтанола из растительного сырья и отходов древесины. В настоящее время осуществляется разработка биотоплива второго поколения (2G), получаемого из непродовольственного сырья: “отдельные виды специально выращиваемых энергетических растений, отходы деревообработки и пищевые отходы” [47:58). Также предлагается использовать для этой цели водоросли [48]. Пока основным источником производства биоэтанола в РФ является пищевое сырье (зерновые культуры). Однако рассматривается возможность использования для этой цели других крахмалосодержащих продуктов: мелассы (отходов сахарного производства), картофеля *Solanum tuberosum* L., а также клубней и зеленой массы топинамбура *Helianthus tuberosus* L., который выращивается в РФ в Нижегородской, Липецкой, Тверской, Рязанской, Тульской, Ульяновской, Костромской, Волгоградской, Омской, Брянской, Московской, Саратовской, Ярославской областях, Республике Чувашия, Краснодарском и Ставропольском краях [47]. Из вышеприведенного следует, что кроме борщевика Сосновского Россия располагает достаточным ассортиментом видов сырья для производства биоэтанола.

Помимо биоэтанола, рассматривается возможность получения из биомассы борщевика Сосновского другого вида биотоплива – топливных гранул [49]. Вместе с тем, проблема получения твердого биотоплива может быть успешно решена и без использования борщевика: промышленное твердое биотопливо получают из отходов растительных и древесных производств, что решает проблему утилизации отходов, а инвестиции в это направление увеличились с 2008 г. и продолжают расти [46]. В нашей стране с начала третьего тысячелетия активно развивается биотопливная промышленность: совокупная номинальная мощность заводов по выпуску топливных гранул составляет более 3 млн. т продукции в год, но это не предел. В настоящее время в лесном секторе РФ ежегодно образуется 20–30 млн. т (730 млн. м^3) отходов древесины, практически не используемой (гниет, сгорает, перестаивает), при переработке которой можно получить более 250 млн. т биотоплива в виде топливных гранул и брикетов – наиболее технологичного вида твердого топлива, объемы потребления которого постоянно растут [50]. Тем более, что древесина – это естественно возобновляемое сырье, а существующие заросли борщевика Сосновского будут полноценно возобновляться только при уходе за ними, как за технической культурой. Так, может быть стоит обратить усилия на использование отходов древесины для получения твердого биотоплива, а не возобновлять для этой цели возделывание культуры борщевика Сосновского?

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФИТОМАССЫ БОРЩЕВИКА СОСНОВСКОГО ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПОЛЕЗНОЙ ПРОДУКЦИИ НЕ СПОСОБСТВУЕТ СДЕРЖИВАНИЮ ЕГО ДАЛЬНЕЙШЕГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ

Таким образом, наиболее активно обсуждаемые аспекты возможного использования полезных свойств борщевика Сосновского для получения продукции могут быть реализованы в промышленных масштабах только при условии возделывания этого растения как технической культуры, и при этом он будет продолжать распространяться на не занятые им территории. Как показано выше, монодоминантные заросли

борщевика на брошенных землях истощатся через несколько лет после начала их использования для получения сырья, и, если вид не будет переведен в возделываемую культуру, они будут также заброшены, как это случилось в 1980-е годы. Использование зарослей борщевика Сосновского на других экотопах в качестве сырья для получения полезной продукции с целью ограничения его неконтролируемого распространения [18, 37] экономически нецелесообразно по следующим причинам. Например, заросли борщевика по обочинам транспортных путей произрастают прерывистыми группами совместно с другими сорным растениями, что требует не сплошного, а выборочного их скашивания, что затрудняет заготовку сырья. Кроме того, дорожные службы регулярно проводят очистку обочин транспортных путей, сплошь скашивая сорные растения вместе с борщевиком или обрабатывая обочины гербицидами. Очень много борщевика в придорожных лесополосах, но он здесь перемежается с зарослями ольшаника и ивняка и добыча его возможна только ручным способом, что весьма трудоемко и нерентабельно. Заросли борщевика по берегам рек, мелких речек и водоемов сложно использовать не только потому, что борщевик в этих условиях, как правило, произрастает в зарослях кустарников, но и потому, что к этим местам часто затруднен подъезд транспорта для вывоза сырья. Сбор растений борщевика в агроэкосистемах (межи, канавы, окраины полей и обочины полевых дорог), как и в населенных пунктах и на особо охраняемых природных территориях возможен только единожды, путем выкапывания растений целиком, чтобы не допустить их возобновления [51, 52]. Понятно, что сбор сырья в таких экотопах производиться не будет, следовательно, распространение борщевика Сосновского будет продолжаться.

БОРЩЕВИК СОСНОВСКОГО – УГРОЗА БИОРАЗНООБРАЗИЮ НА ЗЕМЛЯХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

В настоящее время на территории РФ борщевик Сосновского приурочен в большей мере к антропогенным, а не естественным местообитаниям [53]. Но отмечено, что борщевик способен к внедрению в нижний ярус [54] лесных сообществ с несомкнутым древесным пологом [38], встречается небольшими группами из вегетативных особей на окраинах лесов, а также образует крупные заросли на лесных участках, подверженных сильному антропогенному воздействию [55]. Наибольшее количество очагов отмечается по берегам водоемов. Внедрение борщевика Сосновского в естественные фитоценозы приводит к их деформации [56], ведет к снижению биоразнообразия сосудистых растений в них в среднем на 26% [57]. Причинами этого могут служить как морфологические особенности борщевика, так и высокая аллелопатическая активность в отношении многих видов растений [58].

Наиболее пострадавшими от внедрения борщевика Сосновского являются земли сельскохозяйственного назначения, при этом пахотные земли пока затронуты слабо. Еще десяток лет назад случаи внедрения борщевика Сосновского в агрофитоценозы были весьма редки: он отмечался, главным образом, по краям полей [59], в посевах зерновых культур с низкими показателями обилия [60], в посевах люцерны [61]. Но уже в 2015 г. борщевик засорял поля озимой тритикале, многолетних трав, картофеля и овощных культур [62]. Но пока завоевание сегетальных местообитаний идет медленно, основные массивы монодоминантных зарослей простираются на сельскохозяйственных землях, выведенных из активного использования, а также на рудеральных местообитаниях в пределах агроэкосистем, что приводит к снижению биоразнообразия на сельскохозяйственных землях. Принято считать, что биоразнообразие сосредоточено в природных сообществах и на них нужно направлять усилия по его сохранению. На самом деле в условиях увеличивающегося антропогенного влияния на естественные растительные сообщества фиторазнообразие сосредоточивается на нарушенных территориях, в том числе и на сельхозземлях, на сегетальных и рудеральных местообитаниях и связано видами-апофитами с фрагментами природных сообществ, включенных в агроландшафты. Агроэкосистемы включают виды растений, являющиеся источником дикорастущего лекарственного, пищевого (включая медоносы) и технического сырья. Многие из них являются дикими родичами культурных растений, способствующими, при использовании их в селекции, улучшать хозяйственно-ценные качества культурных растений. Значение фиторазнообразия агроэкосистем усиливается тем, что входящие в них растения являются прибежищем полезной энтомофауны, снижающей численность насекомых-вредителей и опыляющей культивируемые растения [63]. Следовательно, продолжающееся распространение борщевика

Сосновского по территории сельскохозяйственных земель наносит несоизмеримо больший вред, чем это принято считать.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. ВОЗДЕЛЫВАТЬ ИЛИ УНИЧТОЖАТЬ?

Таким образом, с одной стороны, борщевик Сосновского *Heracleum sosnowskyi* представляет собой растение, обладающее широким спектром полезных качеств, благодаря которым его возделывали с применением агротехнических средств защиты [13]. С другой стороны, его отрицательные качества оказались несоизмеримо более значимыми, что обусловило разработку мер борьбы с ним, в том числе с помощью вредителей, от которых его ранее защищали [64], для исключения его вредоносного действия на людей и растительные сообщества [39].

С борщевиком Сосновского происходит то же самое, что и с другим инвазионным видом – золотарником канадским *Solidago canadensis* L.: его оценка менялась от декоративного растения (в случае с борщевиком – кормового) до злостного инвазионного, а затем – ресурсного вида [65], который, как и борщевик Сосновского, продолжает завоевывать все новые территории [66]. Одновременное отнесение этих видов к категориям и ресурсных и инвазионных представляет собой противоречие, но ведь многие виды, включенные в “Отраслевой классификатор сорных растений Российской Федерации”, в то же время являются лекарственными, а также дикорастущими родичами культурных растений [63].

Рассматриваемые в научных публикациях способы использования имеющихся на заброшенных землях зарослей борщевика Сосновского разработаны без учета особенностей перехода существующих без антропогенного вмешательства популяций этого вида в состояние регулярной эксплуатации. Эксплуатация неизбежно внесет значительные изменения в их возобновление, снизит урожайность борщевика и рентабельность производства. Прежде чем разрабатывать технологические схемы получения полезной продукции из борщевика Сосновского и строить перерабатывающие предприятия, следует тщательно изучить особенности роста и развития этого растения и его популяций, о чем кратко сказано выше. Существующие заросли этого растения не являются самовозобновляющимся, дешевым сырьем, для получения продукции придется вернуться к возделыванию борщевика Сосновского как культуры. Вероятно, повторное возвращение борщевика Сосновского в культуру в связи с его богатым биохимическим составом представляет определенный практический интерес. В случае возвращения ему статуса культурного растения, сырье для получения полезной продукции, с учетом биологических особенностей этого растения, безусловно, должно выращиваться на пахотных землях под строжайшим контролем, предотвращающим “бегство из культуры” [67]. С другой стороны, возможно, представляет определенный интерес рассмотрение вопроса возврата брошенных земель сельскохозяйственного назначения, занятых зарослями борщевика Сосновского, в активное землепользование, поскольку на них в течение длительного времени после уничтожения борщевика сохраняется высокий уровень плодородия почвы [68].

Каким бы образом не был решен вопрос использования зарослей борщевика Сосновского на брошенных землях, это не отменит его статуса самого опасного (наряду с амброзией полынолистной *Ambrosia artemisiifolia* L.) заносного вида в Средней России и не решит проблему предотвращения его дальнейшего распространения. Продолжая оставаться сильнейшим фактором, угрожающим биоразнообразию на территории России, борщевик Сосновского требует неослабевающего контроля на границе между зараженными и незараженными им территориями посредством фитосанитарного мониторинга [69]. Успешная реализация системы контроля этого вида возможна только на основе придания ему статуса карантинного объекта [70], в отношении которого станет обязательным “локализация очага карантинного объекта и (или) ликвидация популяции карантинного объекта” [71, статья 2.5], с целью предотвращения его дальнейшего распространения [там же, статья 2.25], в условиях принятия фитосанитарных мер [там же, статья 2.24], обязательных к исполнению [там же, статья, 2.18; 72].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Jahodová Š., Trybush S., Pyšek P., Wade M., Karp A.* 2007. Invasive species of *Heracleum* in Europe: an insight into genetic relationships and invasion history. – Divers. Distrib. 13(1): 99–114. https://doi.org/10.1111/j.1366-9516.2006.00305.x

2. *Moravcová L., Gudzinskas Z., Pyšek P., Pergl J., Perglová I.* 2007. Seed ecology of *Heracleum mantegazzianum* and *H. sosnowskyi*, two invasive species with different distributions in Europe. – In: Ecology and Management of Giant Hogweed (*Heracleum mantegazzianum*). Wallingford; Cambridge. P. 157–169. https://doi.org/10.1079/9781845932060.0157

3. *Lambdon P.W., Pyšek P., Basnou C., Hejda M., Arianoutsou M., Essl F., et al.* 2008. Alien flora of Europe: species diversity, temporal trends, geographical patterns and research needs. – Preslia. 80(2): 101–149. https://www.preslia.cz/article/267

4. *Laivins M., Gavrilova G.* 2003. *Heracleum sosnowskyi* in Latvia: sociology, ecology and distribution. – In: 7-th International Conference on the Ecology and Management of Alien Plant Invasions. Ft. Lauderdale, Florida.

5. The Giant Hogweed Best Practice Manual. Guidelines for the management and control of an invasive weed in Europe. Forest and Landscape. 2005. Hørsholm. 44 p. https://www.academia.edu/13387137/The_Giant_Hogweed_Best_Practice_Manual_Guidelines_for_the_Management_and_Control_of_Invasive_Weeds_In_Europe

6. The Giant Alien. Giant Hogweed (*Heracleum mantegazzianum*) a pernicious invasive weed: Developing a sustainable strategy for alien invasive plant management in Europe (2001–2005). https://cordis.europa.eu/project/id/EVK2-CT-2001-00128

7. *Heracleum mantegazzianum*, *Heracleum sosnowskyi* and *Heracleum persicum*. 2009. – EPPO Bulletin. 39(3):489–499. https://doi.org/10.1111/j.1365-2338.2009.02313.x

8. *Tomaszkiewicz-Potępa A., Vogt O.* 2010. Biologically active compounds from Sosnowski's hogweed (*Heracleum sosnowskyi* Manden.). – Przemysł Chemiczny. 89(7): 973–977. https://www.sigma-not.pl/publikacja-52878-substancje-biologicznie-aktywne-z-barszczu-sosnowskiego-(heracleum-sosnowsky-manden)-przemysl-chemiczny-2010-7.html (In Polish)

9. *Филатова И.А., Власов Ю.В.* 2002. Борщевик Сосновского "осваивает" новые территории. – Защита и карантин растений. 12: 24.

10. Чужеродные виды на территории России. Кабинет "Биоинформатики и моделирования биологических процессов" ИПЭЭ РАН. 2004–2023. http://www.sevin.ru/invasive/priortargets/plants_pr.html

11. Борщевик Сосновского: как пришельцы маскируются под местные виды растений. Русское географическое общество. Информационный портал. 2013. http://www.rgo.ru/plants/borshhevik-sosnovskogo/ https://fenolog.rgo.ru/article/borshchevik-sosnovskogo-kak-prishelcy-maskiruyutsya-pod-mestnye-vidy-rasteniy

12. Борщевик Сосновского. *Heracleum sosnowskyi* Manden. Черная книга флоры Средней России. Чужеродные виды растений в экосистемах Средней России. 2013. http://www.bookblack.ru/plant/4.htm

13. *Сацыперова И.Ф.* 1984. Борщевики флоры СССР – новые кормовые растения. Л. 223 с.

14. *Богданов В.Л., Николаев Р.В., Шмелева И.В.* 2010. Биологическое загрязнение территории экологически опасным растением борщевиком Сосновского. – В сб.: Фундаментальные медико-биологические науки и практическое здравоохранение: Материалы 1-й Международной телеконференции. Томск. С. 27–29.

15. *Wrobel I.* 2008. Sosnowski's hogweed *Heracleum sosnowskyi* Manden. in the Pieniny Mountains). – Pieniny – Przyroda i Człowiek. 10: 37–43. https://www.pieninypn.pl/files/img/fck/8910195/pieninskipn/File/Pieniny%20Przyroda%20i%20Czlowiek%20t10/06-Wrobel2.pdf (In Polish)

16. *Kabuce N., Priede N.* 2010. *Heracleum sosnowskyi*. – In: NOBANIS. European Network on Invasive Alien Species. https://www.nobanis.org/species-info/?taxaId=840

17. *Мусихин П.В., Сигаев А.И.* 2006. Исследование физических свойств и химического состава борщевика Сосновского и получение из него волокнистого полуфабриката. – Современные наукоемкие технологии. 3: 65–67. https://s.top-technologies.ru/pdf/2006/3/45.pdf

18. *Доржиев С.С., Патеева И.Б.* 2011. Энергоресурсосберегающая технология получения биоэтанола из зеленой массы растений рода *Heracleum*. – Ползуновский вестник. 2(2): 251–255. http://elib.altstu.ru/journals/Files/pv2011_02_2/pdf/251dorgiev.pdf

19. *Стребков Д.С., Доржиев С.С., Базарова Е.Г. Патеева И.Б.* Биоэтанол из борщевика как дикорастущего, так и культивируемого: Пат. 2458106, № 2010138695/04; Заявл. 21.09.2010; Опубл. 10.08.2012 Бюл. № 22. https://www1.fips.ru/Archive/PAT/2012FULL/2012.08.10/DOC/RUNWC2/000/000/002/458/106/document.pdf

20. *Устюжанинова Л.В., Богатырев А.М., Мартинсон Е.А.* 2020. Исследование возможности силосования жома борщевика Сосновского. – В сб.: Общество. Наука. Инновации (НПК-2020): Материалы XX Всероссийской научно-практической конференции. Киров. С. 43–50. https://elibrary.ru/item.asp?id=43866409

21. *Ткаченко К.Г.* 2014. Род Борщевик (*Heracleum* L.) – хозяйственно-полезные растения. – Вестник Удмуртского университета. Биология. Науки о Земле. 4: 27–33. https://elibrary.ru/item.asp?id=22922035

22. *Михайлова Е.А., Щербакова Т.П., Щербаков А.А.* 2012. Изучение эффективности применения препаратов пектиновых полисахаридов на разнотравье в условиях полевого опыта. – В сб.: Научные достижения биологии, химии, физики: Материалы международной заочной научно-практической конференции. Новосибирск. С. 41–45. http://proborshevik.ru/wp-content/uploads/2017/09/Mychailova_EA_e.a._2012.pdf

23. *Коковкина С.В.* 2016. Влияние пектиновых полисахаридов на формирование урожайности и биоэнергетическую эффективность возделывания моркови столовой. – Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 5(54): 21–25. https://doi.org/10.30766/2072-9081.2016.54.5.21-25

24. *Тулинов А.Г., Михайлова Е.А., Шубаков А.А.* 2018. Применение пектиновых полисахаридов в качестве стимуляторов роста и развития *Solanum tuberosum L.* – Химия растительного сырья. 4: 289–298. https://doi.org/10.14258/jcprm.2018044009

25. *Орлова Е.Е., Гуртовая А.В.* 2019. Применение биоугля в рамках комплексных мероприятий по борьбе с *Heracleum sosnowskyi* Manden. – В сб.: Актуальные проблемы устойчивого развития агроэкосистем (почвенные, экологические, биоценотические аспекты): Материалы Всероссийской с международным участием научной конференции. Симферополь. С. 130–132. https://elibrary.ru/item.asp?id=41149661

26. *Мишуров В.П., Рубан Г.А., Скупченко Л.А.* 1999. Интродукция многообразия природных и культурных видов кормово-силосных растений в Республике Коми. – В сб.: Эколого популяционный анализ кормовых растений естественной флоры, интродукция и использование: Материалы IX Международного симпозиума по новым кормовым растениям. Сыктывкар. С. 115–117.

27. *Асемкулова Г.Б.* 2012. Влияние сроков, способов посева и режимов орошения на урожайность нетрадиционных кормовых культур в условиях Алматинской области. – Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 3(89): 18–21. https://www.asau.ru/files/vestnik/2012/3/Agronomy_Asemkulova.pdf

28. *Jackson L.* Why the spread of Sosnovsky's hogweed is undesirable? Date of Creation: 14 May 2021. Update Date: 4 June 2023. https://en1.journeyhomestore.com/pochemu-nezhelatelno-rasprostranenie-borshhevika-sosnovskogo-0e822

29. *Emami S., Dadashpour S.* 2015. Current developments of coumarin-based anti-cancer agents in medicinal chemistry. – Eur. J. Med. Chem. 102: 611–630. https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2015.08.033

30. *Dandriyal J., Singla R., Kumar M., Jaitak V.* 2016. Recent developments of C-4 substituted coumarin derivatives as anticancer agents. – Eur. J. Med. Chem. 119: 141–168. https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2016.03.087

31. *Al-Majedy Y., Al-Amiery Ah., Kadchum A.A., Mohamad A.B.* 2017. Antioxidant activity of coumarins. – System. Rev. Pharm. 8(1): 24–30. https://doi.org/10.5530/srp.2017.1.6

32. *Hu Y. Q., Xu Z., Zhang S., Wu X., Ding J., Lu Z., Feng L.* 2017. Recent developments of coumarin-containing derivatives and their anti-tubercular activity. – Eur. J. Med. Chem. 136:122–130. https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2017.05.004

33. *Stefanachi A., Leonetti F., Pisani L., Catto M., Carotti A.* 2018. Coumarin: A natural, privileged and versatile scaffold for bioactive compounds. – Molecules. 23(2): 250. https://doi.org/10.3390/molecules23020250

34. *Olaya P., Viña D., Lopez J.L., Guerrero M.* 2019. Coumarin derivatives as monoamine oxidase B inhibitors with antiparkinsonian like properties. – FarmaJournal. 4(1): 218. https://revistas.usal.es/cinco/index.php/2445-1355/article/view/20157/19993

35. *Келдыш М.А., Помазков Ю.И.* 2009. Об использовании борщевика Сосновского. – АГРО XXI. 7–9: 68. https://www.agroxxi.ru/journal/20090709/20090709031.pdf

36. *Павлов А.В., Тарасов А.В., Соловьева О.Ю.* 2021. О перспективах использования продуктов переработки борщевика Сосновского в химической технологии. – Chemical Bulletin. 4(2): 7–16. https://elibrary.ru/item.asp?id=46671090

37. *Работнов Т.А.* 1950. Жизненный цикл многолетних растений в луговых ценозах. – Тр. БИН АНСССР. 6: 7–204.

38. *Далькэ И.В., Чадин И.Ф., Мади Е.Г.* 2014. Инвазии как фактор трансформации природных экосистем: механизмы самоподдержания и расселения чужеродных видов (на примере борщевика Сосновского). – Вестник института биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН. 6(188): 38–41. https://elibrary.ru/item.asp?id=25766727

39. *Ламан Н.А., Прохоров В.Н.* 2011. Способы ограничения распространения и искоренения гигантских борщевиков: современное состояние проблемы. – В сб.: Ботаника (исследования). 40: 469–489. https://botany.by/wp-content/uploads/2021/02/botanika_40.pdf

40. *Монина С.С., Карташова Н.М., Чепрасова А.А., Парфенова Н.В.* 2022. Методы борьбы с сорными растениями. – Метод Z. 3(5): 14–16. https://elibrary.ru/item.asp?id=49346648

41. *Кудинов М.А., Касач Е.А., Чекалинская И.И., Черник В.В., Чурилов А.К.* 1980. Интродукция борщевиков в Белоруссии. Минск. 200 с.

42. *Мидов А.З.* 2016. Стратегические тенденции и перспективы развития производства топливного этанола в России. – Управленческое консультирование. 6: 108–116. https://www.acjournal.ru/jour/article/view/359

43. *Силосные*. 2013. – В кн.: Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Том 1. Сорта растений. М. С. 65. https://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=EXP&n=552449

44. *Общероссийский классификатор* продукции по видам экономической деятельности. 2014. https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_163703

45. *Отраслевой классификатор* сорных растений Российской Федерации. Двудольные многолетние корнестержневые. М. 2018. С. 29. https://mcx.gov.ru/upload/iblock/2a4/2a4c89393add8caaf4ab401b9e7d21b7.pdf

46. *Шапошников Д.* 2017. Кукуруза против "продвинутых": объективные перспективы применения биотоплива. https://www.forbes.ru/tehnologii/342677-kukuruza-protiv-prodvinutyh-obektivnye-perspektivy-primeneniya-biotopliva?ysclid=lgqqmalmgk147062886

47. *Цимбалист А.В., Дмитренко Е.А.* 2014. Перспективы производства биоэтанола в России. – Наука о человеке: гуманитарные исследования. 3(17): 57-65. https://elibrary.ru/item.asp?id=22505824

48. *Федченко И.А., Соловцова А.С., Лукьянов А.Н.* 2012. Основные тенденции развития рынка биотоплива в мире и России за период 2000–2012 годы. Аналитич. отчет ОАО "Корпорации "Развитие". Белгород. 43 с. http://portal-energo.ru/files/articles/portal-energo_ru_2.pdf

49. *Полина И.Н., Миронов М.В., Белый В.А.* 2021. Термогравиметрическое и кинетическое исследование топливных гранул из биомассы *Heracleum sosnowskyi* Manden. – Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. 64(4): 15–20. https://doi.org/10.6060/ivkkt.20216404.6338

50. *Масликов Д.В.* 2012. Перспективы развития биотопливной промышленности в России. – Лесной Вестник. 5: 147–150. https://elibrary.ru/item.asp?id=50158113

51. *Лунева Н.Н., Чухина И.Г., Шипилина Л.Ю.* 2019. Борщевик Сосновского как сырьевой ресурс: плюсы и минусы. – В сб.: Стратегия ограничения распространения и искоренения гигантских борщевиков и других опасных инвазивных видов растений: материалы научно-практического семинара. Минск. С. 32–33.

52. *Лунева Н.Н., Чухина И.Г., Шипилина Л.Ю.* 2022. Опыт борьбы с *Heracleum sosnowskyi* Manden. на территории Кургальского заказника (Ленинградская область). – Научные записки природного заповедника "Мыс Мартьян". 13: 89–98. https://elibrary.ru/item.asp?id=50158113

53. *Озерова Н.А., Кривошеина М.Г.* 2018. Особенности формирования вторичных ареалов борщевиков Сосновского и Мантегацци (*Heracleum sosnowskyi*, *H. mantegazzianum*) на территории России. – Российский журнал биологических инвазий. 11(1): 78–87. http://www.sevin.ru/invasjour/issues/2018_1/Ozerova_18_1.pdf

54. *Овчаренко А.А.* 2011. Сорные растения как индикаторы состояния пойменных лесов. – В сб.: Сорные растения в изменяющемся мире: актуальные вопросы изучения разнообразия, происхождения, эволюции: Материалы I Международной научной конференции. Санкт-Петербург. С. 255–261.

55. *Арепьева Л.А., Арепьев Е.И., Казаков С.Г.* 2021. Распространение борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden.) на южной границе вторичного ареала в европейской части России. – Российский журнал биологических инвазий. 14(2): 2–15. https://doi.org/10.35885/1996-1499-2021-14-2-2-15

56. *Конечная Г.Ю., Крупкина Л.И.* 2011. Динамика видового состава сообществ с борщевиком Сосновского в национальном парке “Себежский”. – В сб.: Сорные растения в изменяющемся мире: актуальные вопросы изучения разнообразия, происхождения, эволюции: Материалы I Международной научной конференции. СПб. С. 125–132.

57. *Тиунов Д.Н., Ефимик Е.Г.* 2020. Влияние борщевика Сосновского на биоразнообразие сосудистых растений ООПТ “Липовая гора” (г. Пермь). – Вестник Пермского университета. Сер. Биология. 4: 272–279. https://doi.org/10.17072/1994-9952-2020-4-272-279

58. *Бочкарев Д.В., Никольский А.В., Смолин Н.В.* 2011. Трансформация пойменно-лугового фитоценоза при внедрении в него адвентивного сорного вида – борщевика Сосновского. – Вестник Алтайского государственного аграрного университета.7(81): 36–40. https://www.asau.ru/files/vestnik/2011/7/Ecology_Bochkarev.pdf

59. *Палкина Т.А.* 2011. Региональные особенности сегетальной флоры Рязанской области. – В сб.: Сорные растения в изменяющемся мире: актуальные вопросы изучения разнообразия, происхождения, эволюции: Материалы I Международной научной конференции. Санкт-Петербург. С. 261–266.

60. *Лунева Н.Н., Филиппова Е.В.* 2011. Постоянство присутствия видов сорных растений в посевах сельскохозяйственных культур в Ленинградской области. – В сб.: Сорные растения в изменяющемся мире: актуальные вопросы изучения разнообразия, происхождения, эволюции: Материалы I Международной научной конференции. СПб. С. 209–215.

61. *Чегодаева Н.Д., Лабутина М.В., Маскаева Т.А.* 2011. Сорные растения агроценозов. – В сб.: Сорные растения в изменяющемся мире: актуальные вопросы изучения разнообразия, происхождения, эволюции. – Материалы I Международной научной конференции. СПб. С. 333.

62. *Говоров Д.Н., Живых А.В., Шабельникова А.А.* 2016. Борщевику Сосновского говорим нет! – Защита и карантин растений. 9: 11–12. https://elibrary.ru/item.asp?id=26712041

63. *Лунева Н.Н.* 2023. К вопросу сохранения фиторазнообразия на территориях агроэкосистем. – Фиторазнообразие Восточной Европы. 17(2): 49–75. https://doi.org/10.24412/2072-8816-2023-17-2-49-75

64. *Пестов С.В., Филиппов Н.И.* 2014. Фитофаги борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden.) в условиях Республики Коми. – В сб.: Актуальные вопросы аграрной науки: теория и практика: Материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 70-летию агрономического факультета. Киров. С. 149–151.

65. *Виноградова Ю.К., Шелепова О.В.* 2022. Смена парадигмы оценки результатов культивирования и расселения видов рода *Solidago* (декоративные растения – злостные инвазионные сорняки – лекарственные растения). – Социально-экологические технологии. 12(2): 203–219. https://doi.org/10.31862/2500-2961-2022-12-2-203-219

66. *Лунева Н.Н., Ларина С.Ю.* 2015. Золотарник канадский – следующий? – Защита и карантин растений. 1: 17–18. https://elibrary.ru/item.asp?id=22895754

67. *Семчук Н.Н., Балун О.В., Гладких С.Н., Абдушаева Я.М.* 2021. Трансформация травянистого культурного растения в опасный инвазионный дикорастущий вид. – АгроЭкоИнженерия. 4(109): 29–40. https://elibrary.ru/item.asp?id=47934793

68. *Лаптева Е.М., Захожий И.Г., Далькэ И.В., Холопов Ю.В., Бондаренко Н.Н., Перминова Е.М., Лиханова И.А., Елькина Г.Я., Генрих Э.А.* 2021. Влияние растительности на свойства почв в постагрогенных экосистемах средней тайги (на примере Республики Коми). – В сб.: Экология родного края: проблемы и пути их решения: Материалы XVI Всероссийской научно-практической с международным участием конференции. Киров. С. 386–389. https://elibrary.ru/download/elibrary_46414607_77156350.pdf

69. *Майоров С.Р.* 2011. Инвазии чужеродных растений – можно ли их предсказать и контролировать? – В сб.: Сорные растения в изменяющемся мире: актуальные вопросы изучения разнообразия, происхождения, эволюции: Материалы I Международной научной конференции. СПб. С. 220–225.

70. *Лунева Н.Н., Конечная Г.Ю., Смекалова Т.Н., Чухина И.Г.* 2018. О статусе вида борщевик Сосновского *Heracleum sosnowskyi* Manden. на территории РФ. – Вестник защиты растений. 3(97): 10–15. https://plantprotect.ru/index.php/vizr/article/view/4808/2793

71. Федеральный закон "О карантине растений" от 21.07.2014 N 206-ФЗ (последняя редакция). http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&nd=102356103

72. *Лунева Н.Н.* 2022. О необходимости и возможности придания инвазионному агрессивному виду борщевик Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden.) статуса карантинного организма. – В сб.: Фитоинвазии: остановить нельзя сдаваться: Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Москва. С. 96–104. https://www.biosoil.ru/files/publications/00020599.pdf

Heracleum Sosnowskyi (Apiaceae): Eradication Or Wise Utilization Of Plant Raw Materials?

N. N. Luneva*

All-Russian Institute of Plant Protection, St. Petersburg, Russia

**e-mail: natalja.luneva2010@yandex.ru*

Abstract – The uncontrolled spreading of the monodominant colonies of Sosnowsky's hogweed *Heracleum sosnowskyi* Manden. (Apiaceae) in Russia made the researchers look for methods of using its biomass in various sectors of the economy, which should prevent its further spread. The proposed methods of using plant biomass and technologies for obtaining useful substances from *H. sosnowskyi* have been developed regardless of inevitable changes in populations' characteristics: in populations on abandoned lands that are currently unaffected by anthropogenic disturbance, under regular utilization the regeneration will decrease, resulting in reduced yields and profitability of production. It is possible to maintain a high yield of hogweed necessary for its utilization only under strictly controlled cultivation, which prevents its "escape"; however, it is not possible now, as this species has been removed from the State Register of Breeding Achievements Approved for Use. At the same time, there is a sufficient range of alternative sources of raw materials that contain useful substances, which are suggested to be obtained from *H. sosnowskyi*. Harvesting of *H. sosnowskyi* for raw materials from the roadside treelines and small rivers' riparian areas is so much a problem, that it is not considered in publications, although these particular ecotopes are the constant foci of ongoing invasion. Due to the uncontrolled spread of the *H. sosnowskyi*, the biodiversity of agricultural lands, including wild-growing food, technical and medicinal plants (including wild relatives of cultivated plants) are under threat.

Keywords: Heracleum sosnowskyi, disturbance of biodiversity, control of invasion, resource use

REFERENCES

1. *Jahodová Š., Trybush S., Pyšek P., Wade M., Karp A.* 2007. Invasive species of *Heracleum* in Europe: an insight into genetic relationships and invasion history. – Divers. Distrib. 13(1): 99–114. https://doi.org/10.1111/j.1366-9516.2006.00305.x

2. *Moravcová L., Gudzinskas Z., Pyšek P., Pergl J., Perglová I.* 2007. Seed ecology of *Heracleum mantegazzianum* and *H. sosnowskyi*, two invasive species with different distributions in Europe. – In: Ecology and Management of Giant Hogweed (*Heracleum mantegazzianum*). Wallingford; Cambridge. P. 157–169. https://doi.org/10.1079/9781845932060.0157

3. *Lambdon P.W., Pyšek P., Basnou C., Hejda M., Arianoutsou M., Essl F., et al.* 2008. Alien flora of Europe: species diversity, temporal trends, geographical patterns and research needs. – Preslia. 80(2):101–149. https://www.preslia.cz/article/267

4. *Laivins M., Gavrilova G.* 2003. *Heracleum sosnowskyi* in Latvia: sociology, ecology and distribution. – In: 7-th International Conference on the Ecology and Management of Alien Plant Invasions. Ft. Lauderdale, Florida.

5. The Giant Hogweed Best Practice Manual. Guidelines for the management and control of an invasive weed in Europe. Forest and Landscape. 2005. Hørsholm. 44 p. https://www.academia.edu/13387137/The_Giant_Hogweed_Best_Practice_Manual_Guidelines_for_the_Management_and_Control_of_Invasive_Weeds_In_Europe

6. The Giant Alien. Giant Hogweed (*Heracleum mantegazzianum*) a pernicious invasive weed: Developing a sustainable strategy for alien invasive plant management in Europe (2001–2005). https://cordis.europa.eu/project/id/EVK2-CT-2001-00128

7. *Heracleum mantegazzianum*, *Heracleum sosnowskyi* and *Heracleum persicum*. 2009. – EPPO Bulletin. 39(3):489–499. https://doi.org/10.1111/j.1365-2338.2009.02313.x

8. *Tomaszkiewicz-Potępa A., Vogt O.* 2010. Biologically active compounds from Sosnowski's hogweed (*Heracleum sosnowskyi* Manden). – Przemysł Chemiczny. 89(7): 973–977. https://www.sigma-not.pl/publikacja-52878-substancje-biologicznie-aktywne-z-barszczu-sosnowskiego-(heracleum-sosnowsky-manden)-przemysl-chemiczny-2010-7.html (In Polish)

9. *Filatova I.A., Vlasov Yu.V.* 2002. Sosnovsky's hogweed "develops" new territories. – Zashchita i karantin rastenij. 12: 24. (In Russian)

10. [Alien species on the territory of Russia. Group for Bioinformatics and modeling of biological processes IPEE RAS]. 2004–2023. http://www.sevin.ru/invasive/priortargets/plants_pr.html (In Russian)

11. [Sosnovsky's hogweed: invasive plants disguised as natives. Russian Geographical Society. Information portal]. 2013. http://www.rgo.ru/plants/borshhevik-sosnovskogo/ https://fenolog.rgo.ru/article/borshchevik-sosnovskogo-kak-prishelcy-maskiruyutsya-pod-mestnye-vidy-rasteniy (In Russian)

12. [Sosnovsky's hogweed. *Heracleum sosnowskyi* Manden. The Black Book of the flora of Central Russia. Alien plant species in the ecosystems of Central Russia]. 2013. http://www.bookblack.ru/plant/4.htm (In Russian)

13. *Satsyperova I.F.* 1984. [Hogweeds form the flora of the USSR as new fodder plants]. Leningrad. 223 p. (In Russian)

14. *Bogdanov V.L., Nikolaev R.V., SHmeleva I.V.* 2010. [Biological contamination of the territory with an ecologically dangerous plant Sosnovsky's hogweed.]. – In.: [Fundamental Biomedical Sciences and Practical Healthcare: Materials of the 1st International Teleconference]. Tomsk: P. 27–29. (In Russian)

15. *Wrobel I.* 2008. Sosnowski's hogweed *Heracleum sosnowskyi* Manden. in the Pieniny Mountains). – Pieniny – Przyroda i Człowiek. 10: 37–43. https://www.pieninypn.pl/files/img/fck/8910195/pieninskipn/File/Pieniny%20Przyroda%20i%20Czlowiek%20t10/06-Wrobel2.pdf (In Polish)

16. *Kabuce N., Priede N.* 2010. *Heracleum sosnowskyi*. – In: NOBANIS. European Network on Invasive Alien Species. https://www.nobanis.org/species-info/?taxaId=840

17. *Musikhin P.V., Sigaev A.I.* 2006. [Studies on the physical properties and chemical composition of *Heracleum sosnowskyi* and obtaining a fibrous semi-finished product from it]. – Modern High Technologies. 3: 65–67. https://s.top-technologies.ru/pdf/2006/3/45.pdf (In Russian)

18. *Dorzhiev S.S., Pateeva I.B.* 2011. [Energy-saving technology for obtaining bioethanol from plant biomass of *Heracleum* species]. – Polzunovskij Vestnik. 2(2): 251–255. http://elib.altstu.ru/journals/Files/pv2011_02_2/pdf/251dorgiev.pdf (In Russian)

19. *Strebkov D.S., Dorzhiev S.S., Bazarova E.G., Pateeva I.B.* [Bioethanol obtained from wild and cultivated hogweed: Patent 2458106, No. 2010138695/04; Appl. date 21.09.2010; Publ. 10.08.2012; Bulletin No. 22]. https://www1.fips.ru/Archive/PAT/2012FULL/2012.08.10/DOC/RUNWC2/000/000/002/458/106/document.pdf (In Russian)

20. *Ustyuzhaninova L.V., Bogatyrev A.M., Martinson E.A.* 2020. [Studies on the possibility of silage of *Heracleum sosnowskyi* pulp]. – In.: [Society. The science. Innovations (NPC-2020): Materials of the XX All-Russian Scientific and Practical Conference]. Kirov. P. 43–50. https://elibrary.ru/item.asp?id=43866409 (In Russian)

21. *Tkachenko K.G.* 2014. *Heracleum* L. genus – economic plants. – Bulletin of Udmurt University. Series Biology. Earth Sciences. 4: 27–33. https://elibrary.ru/item.asp?id=22922035 (In Russian)

22. *Mikhailova E.A., Shcherbakova T.P., Shcherbakov A.A.* 2012. [Studying the efficiency of application of pectin polysaccharide preparations on various grasses in field experiments]. – In: [Scientific achievements of biology, chemistry, physics: Materials of the international virtual scientific and practical conference]. Novosibirsk. P. 41–45. http://proborshevik.ru/wp-content/uploads/2017/09/Mychailova_EA_e.a._2012.pdf (In Russian)

23. *Kokovkina S.V.* 2016. Effect of pectin polysaccharides on formation of productivity and bioenergetic efficiency of cultivation of table carrot. – Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka. 5(54): 21–25. https://doi.org/10.30766/2072-9081.2016.54.5.21-25 (In Russian)

24. *Tulinov A.G., Mikhailova E.A., Shubakov A.A.* 2018. Application of pectic polysaccharides as stimulants for growth and development of *Solanum tuberosum* L. – Khimija Rastitel'nogo Syr'ja. 4: 289–298. https://doi.org/10.14258/jcprm.2018044009 (In Russian)

25. *Orlova E.E., Gurtovaya A.V.* 2019. [The use of bio-coal in the framework of comprehensive measures to combat *Heracleum sosnowskyi* Manden]. – In: [Actual problems of sustainable development of agroecosystems (soil, ecological, biocenotic aspects): Proceedings of the All-Russian scientific conference with international participation]. Simferopol. P. 130–132.
https://elibrary.ru/item.asp?id=41149661 (In Russian)

26. *Mishurov V.P., Ruban G.A., Skupchenko L.A.* 1999. [Introduction of a variety of natural and cultural types of fodder and silage plants in the Komi Republic]. – In: [Ecological and population analysis of forage plants of natural flora, introduction and use: Proceedings of the IX International symposium on new forage plants]. Syktyvkar. P. 115–117. (In Russian)

27. *Asemkulova G.B.* 2012. The influence of terms, methods of sowing and irrigation regimes on the yield of non-traditional fodder crops in the conditions of the Almaty region. – Bulletin of Altai State Agricultural University. 3(89): 18–21. https://www.asau.ru/files/vestnik/2012/3/Agronomy_Asemkulova.pdf (In Russian)

28. *Jackson L.* Why the spread of Sosnovsky's hogweed is undesirable. Date of Creation: 14 May 2021. Update Date: 4 June 2023. https://en1.journeyhomestore.com/pochemu-nezhelatelno-rasprostranenie-borshhevika-sosnovskogo-0e822

29. *Emami S., Dadashpour S.* 2015. Current developments of coumarin-based anti-cancer agents in medicinal chemistry. – Eur. J. Med. Chem. 102: 611–630. https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2015.08.033

30. *Dandriyal J., Singla R., Kumar M., Jaitak V.* 2016. Recent developments of C-4 substituted coumarin derivatives as anticancer agents. – Eur. J. Med. Chem. 119: 141–168.
https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2016.03.087

31. *Al-Majedy Y., Al-Amiery Ah., Kadchum A.A., Mohamad A.B.* 2017. Antioxidant activity of coumarins. – System. Rev. Pharm. 8(1): 24–30.
https://doi.org/10.5530/srp.2017.1.6

32. *Hu Y.Q., Xu Z., Zhang S., Wu X., Ding J., Lu Z., Feng L.* 2017. Recent developments of coumarin-containing derivatives and their anti-tubercular activity. – Eur. J. Med. Chem. 136: 122–130. https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2017.05.004

33. *Stefanachi A., Leonetti F., Pisani L., Catto M., Carotti A.* 2018. Coumarin: A natural, privileged and versatile scaffold for bioactive compounds. – Molecules. 23(2): 250. https://doi.org/10.3390/molecules23020250

34. *Olaya P., Viña D., Lopez J.L., Guerrero M.* 2019. Coumarin derivatives as monoamine oxidase B inhibitors with antiparkinsonian like properties. – FarmaJournal. 4(1): 218.
https://revistas.usal.es/cinco/index.php/2445-1355/article/view/20157/19993

35. *Keldych M., Pomaskov Y.* 2009. Problems and perspectives of utilization of *Heracleum sosnowskyi*. – AGRO XXI. 7–9: 68. https://www.agroxxi.ru/journal/20090709/20090709031.pdf (In Russian)

36. *Pavlov A.V., Tarasov A.V., Solovyeva O.Yu.* 2021. Prospects for the use of Sosnovsky hogweed processing products in chemical technology. – Chemical Bulletin. 4(2): 7–16.
https://elibrary.ru/item.asp?id=46671090 (In Russian)

37. *Rabotnov T.A.* 1950. [The life cycle of perennial herbaceous plants in meadow coenoses]. – Trudy BIN ANSSSR. Ser. 3. Iss. 6: 7–204. (In Russian)

38. *Dal'ke I.V., Chadin I.F., Madi E.G.* 2014. [Invasions as a factor in the transformation of natural ecosystems: mechanisms of self-support and settlement of alien species (by the example of *Heracleum sosnowskyi*). – Vestnik instituta biologii Komi nauchnogo centra Ural'skogo otdeleniya RAN. 6(188): 38–41.
https://elibrary.ru/item.asp?id=25766727 (In Russian)

39. *Laman N.A., Prokhorov V.N.* 2011. Methods of limitations of eradication giant hogweed: current state and problem]. – Botany (Researches). 40: 469–489. https://botany.by/wp-content/uploads/2021/02/botanika_40.pdf (In Russian)

40. *Monina S.S., Kartashova N.M., Cheprasova A.A., Parfenova N.V.* 2022. Methods of weed control. – Metod Z. 3(5): 14–16.
https://elibrary.ru/item.asp?id=49346648 (In Russian)

41. *Kudinov M.A., Kasach E.A., Chekalinskaya I.I., Chernik V.V., Churilov A.K.* 1980. [Introduction of hogweed in Belarus]. Minsk. 200 p. (In Russian)

42. *Midov A.Z.* 2016. Strategic tendencies and prospects of development of fuel ethanol production in Russia. – Upravlenčeskoe konsul'tirovanie. 6: 108–116. https://www.acjournal.ru/jour/article/view/359 (In Russian)

43. [Silage]. 2013. – In: [The State Register. Volume 1. Plant varieties]. Moscow. P. 65. https://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=EXP&n=552449 (In Russian)

44. [All-Russian classifier of products by types of economic activity]. 2014. https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_163703 (In Russian)

45. [Industry classifier of weeds of the Russian Federation. Dicotyledonous perennial taproot plants]. Moscow. 2018. P. 29. https://mcx.gov.ru/upload/iblock/2a4/2a4c89393add8caaf4ab401b9e7d21b7.pdf (In Russian)

46. *Shaposhnikov D.* 2017. [Corn versus "advanced": objective prospects for the use of biofuels]. https://www.forbes.ru/tehnologii/342677-kukuruza-protiv-prodvinutyh-obektivnye-perspektivy-primeneniya-biotopliva?ysclid=lgqqmalmgk147062886 (In Russian)

47. *Tsimbalist A.V., Dmitrenko E.A.* 2014. Prospects for bioethanol production in Russia. – The Science of Person: Humanitarian Researches. 3(17): 57–65. https://elibrary.ru/item.asp?id=22505824 (In Russian)

48. *Fedchenko I.A., Solovtsova A.S., Lukyanov A.N.* 2012. [The main trends in the development of the biofuel market in the world and Russia for the period 2000-2012. Analytical report]. JSC "Corporation "Development". Belgorod. 43 p. http://portal-energo.ru/files/articles/portal-energo_ru_2.pdf (In Russian)

49. *Polina I.N., Mironov M.V., Belyy V.A.* 2021. Thermogravimetric and kinetic study of fuel pellets from biomass of *Heracleum sosnowskyi* Manden. – ChemChemTech. 64(4): 15–20. https://doi.org/10.6060/ivkkt.20216404.6338 (In Russian)

50. *Maslikov D.V.* 2012. [Prospects for the development of the biofuel industry in Russia]. – Forestry Bulletin. 5: 147–150. https://elibrary.ru/item.asp?id=17950020 (In Russian)

51. *Luneva N.N., Chukhina I.G., Shipilina L.Yu.* 2019. [Sosnovsky's hogweed as a raw material resource: pros and cons]. – In: [Strategy for limiting the spread and eradication of giant hogweeds and other dangerous invasive plant species: materials of the scientific and practical workshop]. Minsk. P. 32–33. (In Russian)

52. *Luneva N.N., Chukhina I.G., Shipilina L.Yu.* 2022. Combating *Heracleum sosnowskyi* Manden. on the territory of the Kurgalsky Nature Reserve (Leningrad region). – Scientific Notes of the "Cape Martyan" Nature Reserve. 13: 89–98. https://elibrary.ru/item.asp?id=50158113 (In Russian)

53. *Ozerova N.A., Krivosheina M.G.* 2018. Patterns of secondary range formation for *Heracleum sosnowskyi* and *H. mantegazzianum* on the territory of Russia. – Russ. J. Biol. Invasions. 9(2): 155–162. https://doi.org/10.1134/S2075111718020091

54. *Ovcharenko A.A.* 2011. [Weeds as indicators of the state of floodplain forests]. – In: [Weedy plants in the changing world: topical issues in studying their diversity, origin and evolution: Proceedings of the First International Scientific Conference]. St. Petersburg. P. 255–261. (In Russian)

55. *Arepieva L.A., Arepiev E.I., Kazakov S.G.* 2021. Distribution of Sosnovsky hogweed (*Heracleum sosnowskyi*) on the southern border of the secondary range in the European part of Russia. – Russ. J. Biol. Invasions. 12(3): 233–243. https://doi.org/10.1134/S2075111721030024

56. *Konechnaya G.Yu., Krupkina L.I.* 2011. [Dynamics of species composition in communities with Sosnovsky's hogweed in the "Sebezhsky" National Park]. – In: [Weedy plants in the changing world: topical issues in studying their diversity, origin, evolution: Proceedings of the First International Scientific Conference]. St. Petersburg. P. 125–132. (In Russian)

57. *Tiunov D.N., Efimik E.G.* 2020. Influence of *Heracleum sosnowskyi* Manden. On biodiversity of vascular plants of the protected area "Lipovaya gora" (Perm). – Bulletin of Perm University. Biology. 4: 272–279. https://doi.org/10.17072/1994-9952-2020-4-272-279 (In Russian)

58. *Bochkarev D.V., Nikolsky A.V., Smolin N.V.* 2011. [Transformation of the floodplain-meadow phytocenosis with the invasion of an adventitious weed species – Sosnovsky's hogweed]. – Bulletin of Altai State Agricultural University. 7(81): 36–40. https://www.asau.ru/files/vestnik/2011/7/Ecology_Bochkarev.pdf (In Russian)

59. *Palkina T.A.* 2011. [Regional features of the segetal flora of the Ryazan region]. – In: [Weedy plants in the changing world: topical issues in studying their diversity, origin, evolution: Proceedings of the First International Scientific Conference]. St. Petersburg. P. 261–266. (In Russian)

60. *Luneva N.N., Filippova E.V.* 2011. [The constancy of weed species presence in agricultural crops in the Leningrad region]. – In: [Weedy plants in the changing world: topical issues in studying their diversity, origin, evolution: Proceedings of the First International Scientific Conference]. St. Petersburg. P. 209–215. (In Russian)

61. *Chegodaeva N.D., Labutina M.V., Maskaeva T.A.* 2011. [Weeds of agrocenoses]. – In: [Weedy plants in the changing world: topical issues in studying their diversity, origin, evolution: Proceedings of the First International Scientific Conference]. St. Petersburg. P. 333. (In Russian)

62. *Govorov D.N., Zhivyh A.V., Shabel'nikova A.A.* 2016. [We say "No!" to Sosnovsky's hogweed]. – Zashchita i karantin rastenij. 9: 11–12. https://elibrary.ru/item.asp?id=26712041 (In Russian)

63. *Luneva N.N.* 2023. On the issue of preserving phytodiversity in the territories of agroecosystems – Phytodiversity of Eastern Europe. 17(2): 49–75.
https://doi.org/10.24412/2072-8816-2023-17-2-49-75 (In Russian)

64. *Pestov S.V., Filippov N.I.* 2014. [Phytophagous insects of Sosnovsky's hogweed (*Heracleum sosnowskyi* Manden.) in the Komi Republic]. – In: [Topical issues of agricultural science: theory and practice: materials of the All-Russian scientific and practical conference]. Kirov. P. 149–151. (In Russian)

65. *Vinogradova Yu.K., Shelepova O.V.* 2022. A paradigm shift in the evaluation of the North American species of *Solidago* (ornamental plants – noxious invasive weeds – medicinal plants). – Socialno-ekologicheskie technologii. 12(2): 203–219.
https://doi.org/10.31862/2500-2961-2022-12-2-203-219 (In Russian)

66. *Luneva N.N., Larina S.Yu.* 2015. *Solidago canadensis* – the next? – Zashchita i karantin rastenij. 1: 17–18. https://elibrary.ru/item.asp?id=22895754 (In Russian)

67. *Semchuk N.N., Balun O.V., Gladkikh S.N., Abdushaeva Ya.M.* 2021. Transformation of a herbaceous cultivated plant into a dangerous invasive wild species. – AgroEcoEngineering. 4(109): 29–40.
https://elibrary.ru/item.asp?id=47934793 (In Russian)

68. *Lapteva E.M., Zakhozhij I.G., Dalke I.V., Kholopov Yu.V., Bondarenko N.N., Perminova E.M., Likhanova I.A., Elkina G.YA., Genrikh E.A.* 2021. [The impact of vegetation on soil properties in postagrogenic ecosystems of the Middle taiga (example of the Komi Republic)]. – In: [Ecology of the native land: problems and ways to solve them: Materials of the XVI All-Russian scientific and practical conference with international participation]. Kirov. P. 386–389. https://elibrary.ru/download/elibrary_46414607_77156350.pdf (In Russian)

69. *Mayorov S.R.* 2011. [Invasions of alien plants – can they be predicted and controlled?]. – In: [Weedy plants in the changing world: topical issues in studying their diversity, origin and evolution: Proceedings of the First International Scientific Conference]. St. Petersburg. P. 220–225. (In Russian)

70. *Luneva N.N., Konechnaya G.Yu., Smekalova T.N., Chukhina I.G.* 2018. On status of *Heracleum sosnowskyi* Manden. on the territory of Russian Federation. – Plant Protection News. 3(97): 10–15.
https://plantprotect.ru/index.php/vizr/article/view/4808/2793 (In Russian)

71. [Federal Law "On Plant Quarantine" dated 21.07.2014 N 206-FZ (latest edition)].
http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&nd=102356103 (In Russian)

72. *Лунева Н.Н.* 2022. On the necessity and possibility of giving an invasive aggressive species *Heracleum sosnowskyi* Manden. status of a quarantine organism. – In: Phytoinvasions: Can we stop them or need to give up? Proceedings of the All-Russian scientific and practical conference. Moscow. P. 96–104.
https://www.biosoil.ru/files/publications/00020599.pdf (In Russian)

РАСТИТЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ, 2024, том 60, вып. 1, с. 69–79

СТАТЬИ И СООБЩЕНИЯ
РЕСУРСЫ ПОЛЕЗНЫХ РАСТЕНИЙ И РАСТИТЕЛЬНЫХ СООБЩЕСТВ

УДК 581.6 (571.55)

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФАРМАКОПЕЙНЫХ РАСТЕНИЙ ЗАБАЙКАЛЬСКОГО КРАЯ

© 2024 г. О. А. Попова*, Т. Е. Ткачук, Н. А. Чащина, А. П. Лесков, Ю. В. Никифорова, М. В. Лаевская

Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия

**e-mail: olga.popova-54@yandex.ru*

Поступила в редакцию 27.06.2023 г.
После доработки 02.10.2023 г.
Принята к публикации 08.11.2023 г.

Работа представляет собой предварительный этап ресурсоведческого исследования для даурской части Забайкальского края. В XIV издание Государственной фармакопеи Российской Федерации (2018) включено 102 вида лекарственных растений, из которых на территории Забайкальского края встречается 30 видов.

С помощью методики ориентировочной оценки величины запасов лекарственного сырья их можно предварительно подразделить на три группы. Сырье десяти видов можно заготавливать для нужд региональной аптечной сети, восемь видов могут использоваться для личных нужд местного населения и только пять широко распространенных видов (*Pinus sylvestris* L., *Betula pendula* Roth, *Padus avium* Mill., *Vaccinium vitis-idaea* L., *Ledum palustre* L.) могут являться ресурсными для химико-фармацевтической промышленности Российской Федерации. Оставшиеся виды *Arctostaphylos uva-ursi* (L.) Sprengel, *Vaccinium myrtillus* L., *Carum carvi* L., *Dryopteris filix-mas* (L.) Schott имеют единичные местонахождения, а *Glycyrrhiza uralensis* Fisch., *Rhodiola rosea* L., *Convallaria keiskei* Miq. включены в Красную книгу Забайкальского края (2017). Заготовка этих видов запрещена. Установлено, что наиболее перспективными в ресурсоведческом отношении являются 15 видов лекарственных растений, а наиболее перспективными территориями для ресурсоведческих исследований являются Даурия Яблоновая и Даурия Аргунская в связи с наибольшим видовым разнообразием в них фармакопейных лекарственных растений.

*Ключевые слова: З*абайкальский край, лекарственные растения, фармакопейные растения, перспективы использования

DOI: 10.31857/S0033994624010045, **EDN:** HGGDTP

Забайкальский край располагается на юге Восточной Сибири на стыке восточносибирской тайги и монгольских степей, переходя на востоке в приамурские ландшафты с преобладанием восточноазиатской, в частности, манчжурской, флоры. Протяженность с севера на юг составляет около 1000 км, с запада на восток – более 800 км, общая площадь Забайкальского края – 432 тыс. км². Расположение в глубине материка делает климат Восточного Забайкалья резко континентальным. Рельеф большей части Забайкальского края среднегорный, постепенно переходящий на юго-востоке в слабоувалистые равнины, на юго-западе и крайнем севере края – в высокогорные. Большая протяженность, рельеф, пограничное положение обусловливает довольно сложную картину пространственного распределения экосистем и ландшафтов. В целом с юга на север друг друга сменяют степи, лесостепь и тайга [1]. Во флоре преобладают светлохвойная, горностепная, собственно степная и лесостепная поясно-зональные группы. В ареалогической структуре флоры наряду с евроазиатскими, евросибирскими и циркумполярными видами большую роль играют восточноазиатский, центральноазиатский, южносибирский, американо-азиатский элементы [2]. Флора Забайкальского края богата хозяйственно ценными видами растений, в том числе лекарственными [3–5]. Она имеет большие потенциальные возможности для использования в практических целях как источник лекарственного сырья, но малая

степень ее ресурсной изученности не позволяет определить масштабы этих возможностей. Так, в методических рекомендациях по заготовке, сбору и сушке лекарственного растительного сырья, подготовленных Аптечным управлением Читинского облисполкома в 1982 г. [6], упоминаются только 12 видов лекарственных растений, которые на тот момент заготавливались в Читинской области. Сборщикам лекарственных растений рекомендовалось заготавливать березовые почки, лист и побеги брусники и толокнянки, побеги багульника болотного, плоды боярышника, черемухи, шиповника, траву чабреца, тысячелистника, лист подорожника, цветы пижмы. В методических рекомендациях также был указан березовый гриб – чага. К сбору лекарственных растений активно привлекались школьники, студенты и местное население. Собранное лекарственное сырье сдавалось в аптеки по месту жительства по ценам, установленным в регионе. С тех пор централизованная заготовка лекарственных растений в Забайкальском крае не осуществляется.

В настоящее время спрос на качественное лекарственное растительное сырье из экологически чистых районов довольно велик. Забайкальский край ввиду малой освоенности и низкой плотности населения перспективен в отношении заготовок экологически чистого растительного сырья. С другой стороны, малая освоенность территорий сопряжена с их малой изученностью. Степень ресурсоведческой изученности определяет актуальные исследовательские задачи ботанического ресурсоведения на той или иной территории [7]. Изучению лекарственных растений Забайкальского края посвящены лишь немногие ресурсоведческие работы, большинство которых носит фрагментарный характер, и относится к отдельным перспективным видам дикорастущих лекарственных растений [8–14]. Из современных публикаций известны работы Г.В. Чудновской [15], которая с 1991 г. проводила работы по определению урожайности, биологических и производственных ресурсов и объемов возможных заготовок у 19 видов перспективных лекарственных растений в Шилкинском, Нерчинском, Чернышевском и Могочинском районах Забайкальского края. Для территории края в целом не проводилось не только определение запасов лекарственных растений, но отсутствуют даже данные подготовительного этапа ресурсоведческого исследования [16], которые необходимы для обоснованного рационального планирования последующих полевых изысканий.

Таким образом, инвентаризация видов лекарственных растений в составе флоры Забайкальского края и разработка перспектив их рационального использования являются задачей, актуальной для Забайкальского края на сегодняшний день, что и обусловило поддержку проекта, посвященного данной проблематике, правительством Забайкальского края и Российского научного фонда. В первую очередь в исследовании нуждаются фармакопейные виды растений, поскольку их ценность для медицины доказана, методики их применения разработаны и испытаны. Настоящая работа представляет собой предварительный этап ресурсоведческого исследования и решает следующие задачи: 1) составить на основе литературных данных аннотированный список фармакопейных видов растений Забайкальского края; 2) проанализировать распространение и биотопическую приуроченность фармакопейных видов в Забайкальском крае и 3) дать предварительную оценку перспектив изучения их ресурсного использования.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Список фармакопейных лекарственных растений Забайкальского края составляли с использованием Государственной фармакопеи Российской Федерации XIII, издание [17], и Государственной фармакопеи Российской Федерации XIV, издание [18].

Провели анализ лекарственных растений по их распространению на территории Забайкальского края: составили перечень лекарственных видов, для каждого вида указали флористические районы Центральной Сибири, где вид распространен [19]. Известно, что районы Забайкальского края имеют различную транспортную доступность и, соответственно, разную ботаническую изученность. По этим причинам перспективы плановых заготовок лекарственного растительного сырья связаны только с относительно хорошо освоенными районами. Поэтому мы не включили в исследование северные территории (Нагорье Витимское (Нв), Нагорье Становое (Нс)), а анализировали только материалы по центральным, южным и восточным районам Забайкальского края. В ботанико-географическом отношении эти районы обычно рассматривают как Даурию. На этой территории

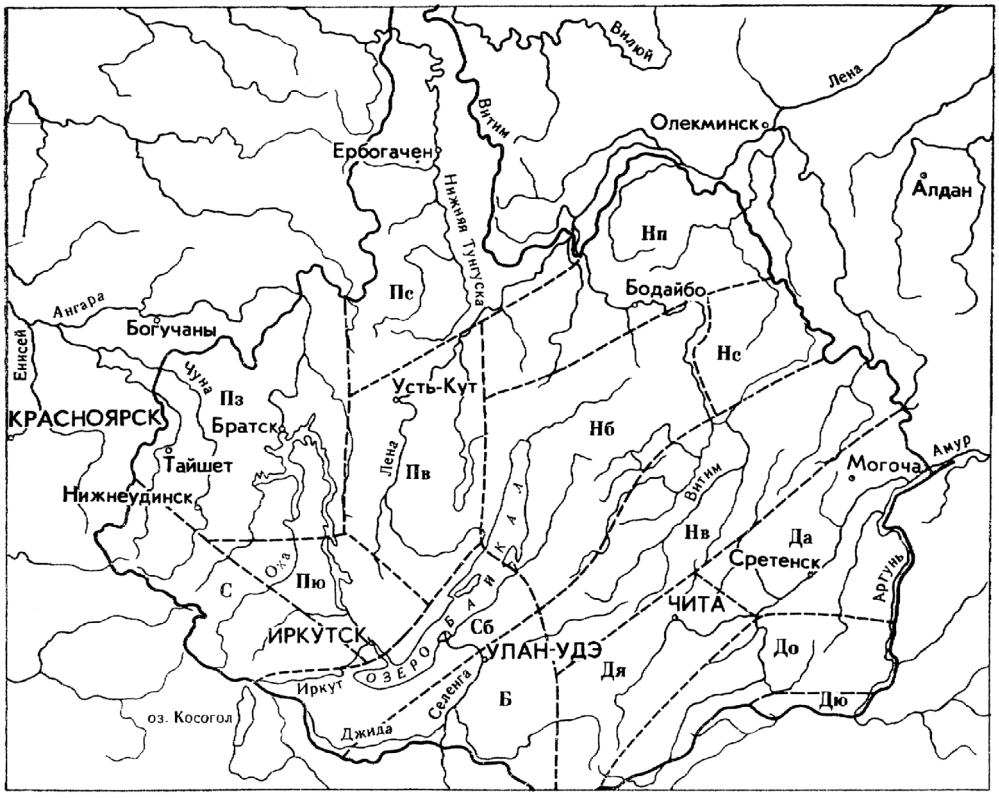


Рис. 1. Флористические районы Центральной Сибири [19]. Обозначения флористических районов Даурии: Дя – Даурия Яблоновая, Да – Даурия Аргунская, До – Даурия Ононская, Дю – Даурия Южная.
Fig. 1. Floristic regions of Central Siberia [19]. Floristic regions of Dauria: Дя – Yablonovy Range Dauria (Dy), Да – Argun Dauria (Da), До – Onon Dauria (Do), Дю – Southern Dauria (Ds).

выделяются четыре флористических района [14]: Даурия Яблоновая (Дя), Даурия Аргунская (Да), Даурия Ононская (До) и Даурия Южная (Дю) (рис. 1).

В работе использовали данные геоботанических описаний, сделанных авторами в рамках различных проектов за период 2010–2022 гг. в Газимуро-Заводском, Краснокаменском, Приаргунском, Борзинском, Читинском, Карымском, Александрово-Заводском, Ононском, Красночикойском р-нах.

Анализ литературных источников [3–5, 19, 20] и собственные полевые исследования показали, что на территории Забайкальского края встречается 537 видов лекарственных растений, как официнальных, так и используемых в народной медицине.

При распределении фармакопейных видов по категориям запасов руководствовались методикой ориентировочной оценки запасов лекарственного сырья [21].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Лекарственные растения отечественного происхождения, включенные в фармакопеи СССР и России с I по XI издание [22], насчитывают 287 видов. Из них на территории Забайкальского края отмечен 41 вид лекарственных растений. Государственная фармакопея Российской Федерации XIII издания включила 53 вида лекарственных растений [17]. Из них в Забайкальском крае произрастает 13 видов лекарственных растений. Государственная фармакопея Российской Федерации XIV издания [18] решает стратегические задачи обеспечения качества лекарственных средств, находящихся в обращении на отечественном фармацевтическом рынке, и их соответствия требованиям как российских, так и мировых стандартов. В XIV издание Государственной фармакопеи Российской Федерации было включено 102 вида лекарственных растений, из которых на территории Забайкальского края встречается 30 видов, краткие сведения о которых приводятся в табл. 1. В данный список

Таблица 1. Список лекарственных растений Забайкальского края, включенных в Государственные фармакопеи Российской Федерации
Table 1. Medicinal plants of the Trans-Baikal Territory listed in the State Pharmacopoeia of the Russian Federation

№ пп	Вид Species	Государственные фармакопеи State Pharmacopoeia		Флористические районы Floristic regions				Категория запасов сырья Resource category
		XIV изд. XIV ed.	XIII изд. XIII ed.	Дя Dy	Да Da	До Do	Дю Ds	
Отдел Папоротниковидные – Polypodiopsida, Семейство Щитовниковые – Aspidiaceae								
1	*Dryopteris filix-mas*	+		+				0
Отдел Хвощовые – Equisetopsida, Семейство Хвощовые – Equisetaceae								
2	*Equisetum arvense*	+	+	+	+	+	+	2
Отдел Голосемянные – Gymnospermae (Pinophyta), Семейство Сосновые – Pinaceae								
3	*Pinus sylvestris*	+	+	+	+	+	+	1
Отдел Покрытосемянные – Angiospermae (Magnoliophyta), класс Однодольные – Monocotyledonae								
Семейство Ароидные – Araceae								
4	*Acorus calamus*	+		+	+	+		3
Семейство Лилейные – Liliaceaes. l.								
5	*Convallaria keiskei*	+	+		+	+		КкЗк/RBZk
Класс Двудольные – Dicotyledonae								
Семейство Ивовые – Salicaceae								
6	*Populus suaveolens*	+	+	+	+	+		3
Семейство Березовые – Betulaceae								
7	*Betula pendula*	+	+	+	+	+		1
Семейство Гречишные – Polygonaceae								
8	*Polygonum hydropiper*	+		+	+	+	+	3
9	*Polygonum aviculare* ssp. *heterophyllum*	+		+	+	+	+	2
Семейство Маковые – Papaveraceae								
10	*Chelidonium majus*	+		+	+	+	+	3
Семейство Капустные (=Крестоцветные) – Brassicaceae (= Cruciferae)								
11	*Capsella bursa-pastoris*	+		+	+	+	+	2
Семейство Толстянковые – Crassulaceae								
12	*Rhodiola rosea*	+	+	+				КкРФ/RBRF
Семейство Камнеломковые – Saxifragaceae								
13	*Bergenia crassifolia*	+	+	+	+			3
Семейство Розоцветные – Rosaceae								
14	*Crataegus sanguinea*	+		+	+			2
15	*Crataegus dahurica*	+		+	+	+	+	2
16	*Sanguisorba officinalis*	+		+	+	+	+	2
17	*Padus avium*	+	+	+	+	+		1
18	*Rosa acicularis*	+		+	+	+	+	2

Таблица 1. Окончание

19	*Rosa davurica*	+		+	+	+	+	2
Семейство Бобовые (= Мотыльковые) – Fabaceae (= Leguminosae)								
20	*Glycyrrhiza uralensis*	+	+				+	КкЗк/RBZk
21	*Thermopsis lanceolata*	+		+	+	+	+	2
Семейство Сельдереевые (= Зонтичные) – Apiaceae (= Umbelliferae)								
22	*Carum carvi*	+			+			0
Семейство Вересковые – Ericaceae								
23	*Vaccinium vitis-idaea*	+		+	+			1
24	*Ledum palustre*	+		+	+	+		1
25	*Arctostaphylos uva-ursi*	+		+				0
26	*Vaccinium myrtillus*	+	+	+				0
Семейство Вахтовые – Menyanthaceae								
27	*Menyanthes trifoliata*	+			+			3
Семейство Подорожниковые – Plantaginaceae								
28	*Plantago major*	+	+	+	+	+		2
Семейство Пасленовые- Solanaceae								
29	*Hyoscyamus niger*	+		+	+			3
Семейство Астровые (= Сложноцветные) – Asteraceae (= Compositae)								
30	*Tanacetum vulgare*	+	+	+	+			3
Итого:		30	8	27	25	17	10	

Примечание. Категории запасов: см. в тексте. КкЗк – вид включен в Красную книгу Забайкальского края [23], КкРФ – вид включен в Красные книги РФ [24] и Забайкальского края.
Notes. Resource categories: see in the text. RBZk – the species is included in the Red Data Book of the Trans-Baikal Territory, RBRF – the species is included in the Red Data Book of the Russian Federation and the Red Data Book of the Trans-Baikal Territory.

входят, главным образом, виды, распространенные на территории Европейской части России и имеющие при этом широкий ареал, охватывающий Сибирь и Дальний Восток. Малое разнообразие фармакопейных видов на территории Забайкальского края обусловлено отсутствием исследований местных лекарственных, даже официнальных, видов с целью включения их в Государственную фармакопею РФ.

Систематический анализ лекарственных растений, включенных в Государственную фармакопею Российской Федерации [18], показал, что из них два вида относятся к споровым: *Equisetum arvense* L. и *Dryopteris filix-mas* (L.) Schott, один вид к голосеменным – *Pinus sylvestris* L. Из 27 видов цветковых растений два вида принадлежат к классу однодольные (*Convallaria keiskei* Miq., *Acorus calamus* L.), а 25 видов к классу двудольные, представленному 15 семействами. Большинство из этих семейств представлены одним–двумя видами, и только два семейства представлены большим их количеством. Это семейство Rosaceae с шестью видами и семейство Ericaceae с четырьмя видами. Два семейства включают по два вида лекарственных растений: Fabaceae (*Thermopsis lanceolata* R. Br., *Glycyrrhiza uralensis* Fisch.) и Polygonaceae (*Polygonum hydropiper* L. и *Polygonum aviculare* L. ssp. *heterophyllum* (Lindm.) Asch. & Graebn.). 11 семейств являются одновидовыми (Salicaceae, Betulaceae, Papaveraceae, Brassicaceae, Crassulaceae, Saxifragaceae, Apiaceae, Menyanthaceae, Solanaceae, Plantaginaceae, Asteraceae).

На территории Забайкальского края лекарственные растения, включенные в государственную фармакопею, произрастают во всех изучаемых нами флористических районах (табл. 1).

Наиболее богаты фармакопейными видами Даурия Яблоновая и Даурия Аргунская в силу более благоприятных климатических условий и разнообразия ландшафтов (табл. 1). Все виды, встречающиеся в Даурии Южной, за исключением одного, сугубо степного вида *Glycyrrhiza uralensis* (табл. 1), имеют широкий ареал и произрастают во всех четырех флористических районах. Некоторые из них относятся к сегетальным растениям: *Equisetum arvense*, *Polygonum aviculare* L. subsp. *heterophyllum*, *Capsella bursa-pastoris* (L.) Medikus. Они в основном растут на землях сельскохозяйственного назначения. Часть видов, относимых Л.И. Малышевым и Г.А. Пешковой [2] к светлохвойно-лесной пояснозональной группе, такие как *Crataegus dahurica* Koehne ex C.K. Schneid., *Rosa acicularis* Lindl., *R. davurica* Pall., приурочены к долинам рек Онон, Борзя и других водотоков. По этим экологическим коридорам они проникают в степные районы, но их обилие там незначительно. Такой вид, как *Thermopsis lanceolata,* произрастает в солонцеватых степях и в луговых сообществах по берегам соленых озер.

В Даурии Яблоновой произрастает 27 видов фармакопейных лекарственных растений из 30 (табл. 1), за исключением *Menyanthes trifoliata* L., *Carum carvi* L., *Convallaria keiskei* Miq. Эти виды растут и в Даурии Аргунской, но и там два первых вида встречаются редко и с небольшим обилием. *Convallaria keiskei* встречается в лиственнично-березовых, белоберезовых и чернобереговых лесах. При этом только в Газимуро-Заводском районе нами были отмечены незначительные по площади, 1–2 га, березняки разнотравно-ландышевые, где *Convallaria keiskei* образует сплошные заросли с проективным покрытием 65–70%, а на остальной территории вид распространен ограниченно в виде куртин площадью 0.25–1 м², удаленных друг от друга на расстояние до 10 м.

В Даурии Аргунской выявлено 25 видов фармакопейных растений (табл. 1); на этой значительной по площади территории не отмечены только пять из тридцати фармакопейных видов: *Rhodiola rosea* L., *Arctostaphylos uva-ursi* (L.) Sprengel, *Vaccinium myrtillus* L., *Dryopteris filix-mas*, *Glycyrrhiza uralensis*. Последний вид растет в Забайкалье только в Даурии Южной в солонцеватых степях, а остальные виды – таежные, встречаются редко [19] в темнохвойных и лиственничных лесах лишь в Даурии Яблоновой (табл. 1). Фармакопейные виды в Даурии Аргунской приурочены чаще всего к поймам рек и сельскохозяйственным угодьям.

В Даурии Ононской встречается 17 фармакопейных видов растений, все они имеют на территории края широкое распространение. Такие виды, как *Polygonum hydropiper* L., *Padus avium* Mill., *Ledum palustre* L., *Plantago major* L., *Betula pendula* Roth, *Populus suaveolens* Fischer, *Acorus calamus* L., *Pinus sylvestris,* отмечены в трех флористических районах: Дя, Да, До, а в четырех районах – *Thermopsis lanceolata*, *Sanguisorba officinalis* L., *Crataegus dahurica*, *Rosa acicularis*, *R. Davurica*, *Equisetum arvense*, *Polygonum hydropiper* (табл. 1). Видов, специфичных только для данного флористического района, среди фармакопейных нет.

На основании имеющихся у нас литературных и полевых данных мы провели предварительную классификацию 30 фармакопейных видов, распространенных в Забайкальском крае, по их ресурсоведческим перспективам [21].

Такие виды, как *Pinus sylvestris*, *Betula pendula*, *Padus avium*, *Vaccinium vitis-idaea* L., *Ledum palustre,* мы отнесли к первой категории запасов сырья [21]. Эти виды на территории края широко распространены и занимают значительные площади. Например, сосновые леса занимают в Забайкальском крае 2554.1 тыс. га, березовые – 5102.1 тыс. га [25]; практически все сосновые леса Забайкальского края распространены в пределах Даурии [1]. Названные виды возможно было бы использовать для обеспечения химико-фармацевтической промышленности страны после проведения дополнительных исследований их распространения по административным районам и экономической целесообразности их заготовок в регионе, удаленном от действующих предприятий по переработке растительного лекарственного сырья.

Довольно широко распространены в Забайкальском крае *Crataegus dahurica*, *C. sanguinea*, *Rosa acicularis*, *R. davurica*, *Sanguisorba officinalis*, *Plantago major*, *Thermopsis lanceolata*, *Polygonum aviculare* L. subsp. *heterophyllum*, *Capsella bursa-pastoris*, *Equisetum arvense*. Однако эти виды связаны главным образом с поймами рек, а поймы занимают в Забайкалье сравнительно небольшие площади [1]. Некоторые из перечисленных видов связаны в той или иной степени с сельскохозяйственными землями, залежами, и другими антропогенными биотопами. Наши исследования на залежах Читинского, Карымского, Краснокаменского и Борзинского районов, относящихся к Даурии Яблоновой, Южной и

Ононской, показали, что постоянство *Thermopsis lanceolata* составляет на них около 25%, *Sanguisorba officinalis* – 20%, *Equisetum arvense* – 8% с проективным покрытием до 1%. Виды этой группы можно использовать для снабжения региональной аптечной сети (категория запасов 2).

Ограниченное распространение на территории края и незначительные по площади популяции имеют следующие виды: *Menyanthes trifoliata*, *Hyoscyamus niger* L., *Chelidonium majus* L., *Bergenia crassifolia* (L.) Fritsch, *Polygonum hydropiper*, *Populus suaveolens*, *Acorus calamus*, *Tanacetum vulgare* L. *Hyoscyamus niger* изредка встречается по антропогенным местообитаниям: обочины дорог, поля, огороды. *Bergenia crassifolia* произрастает в горной кедрово-лиственничной тайге, в основном в труднодоступных районах в пределах Хэнтэй-Чикойского нагорья. Остальные виды из этой группы приурочены к пойменным биотопам: лугам, болотам, которые, как уже упоминалось, имеют небольшие площади. Таким образом, эти виды может использовать местное население для собственных нужд (категория запасов 3).

Из 30 видов фармакопейных растений на территории Забайкальского края четыре вида *Arctostaphylos uva-ursi*, *Vaccinium myrtillus*, *Carum carvi*, *Dryopteris filix-mas* имеют единичные местонахождения [19], поэтому заготовки этих видов невозможны (категория запасов 0).

Три фармакопейных вида – *Glycyrrhiza uralensis*, *Convallaria keiskei*, *Rhodiola rosea* – включены в Красную книгу Забайкальского края [23], а последний и в Красную книгу Российской Федерации [24]. Эти виды подлежат охране на всей территории Забайкальского края, их заготовка запрещена.

Проведенный анализ показал (рис. 2), что во всех районах абсолютно преобладают виды, которые можно заготавливать для нужд региональной аптечной сети, несколько меньше видов, которые местное население может заготавливать только для собственных нужд. Последнее место занимают виды, которые возможно заготавливать для нужд страны, однако эта возможность еще нуждается в экономической оценке. Наибольшее количество видов первой и второй категорий запасов встречается в Даурии Яблоновой и Даурии Аргунской (табл. 1).

Для определения возможностей и планирования заготовок фармакопейных видов необходимо проведение ресурсоведческих исследований, прежде всего для видов, отнесенных к

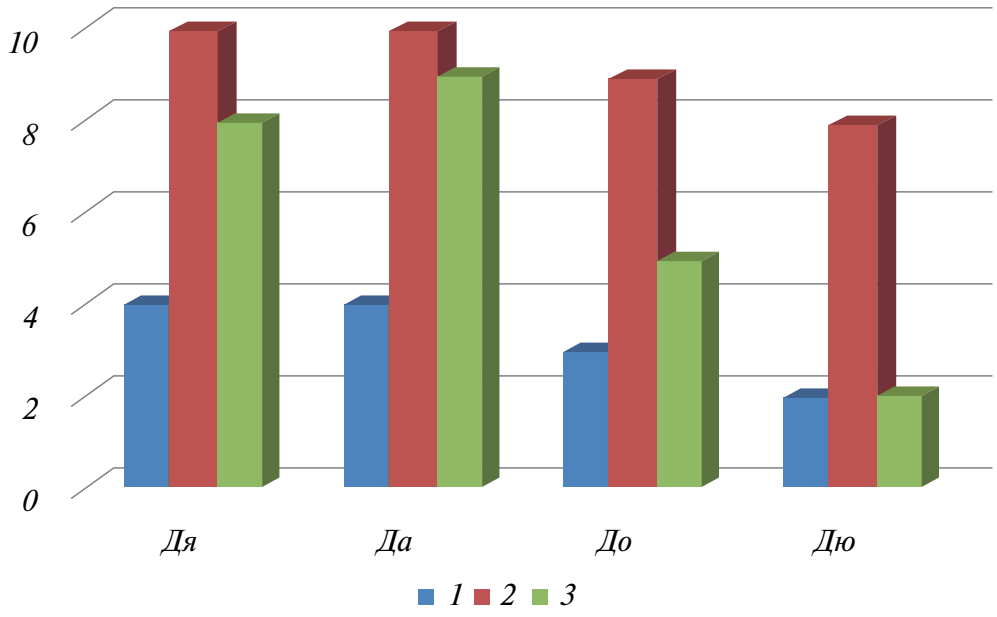


Рис. 2. Распределение фармакопейных видов разных категорий запасов по флористическим районам. *По горизонтали* – флористические районы; *по вертикали* – количество видов. Цветом обозначены категории запасов сырья.
Fig. 2. Distribution of pharmacopoeial species of different resource categories by floristic regions. *X-axis* – floristic regions; *y-axis* – species number. Numbers of resource categories are indicated by colour.

первой и второй категориям запасов: *Padus avium*, *Vaccinium vitis-idaea*, *Ledum palustre*, *Equisetum arvense*, *Polygonum aviculare* subsp. *heterophyllum*, *Capsella bursa-pastoris*, *Crataegus sanguinea*, *C. dahurica*, *Sanguisorba officinalis*, *Rosa acicularis*, *R. davurica*, *Thermopsis lanceolata*, *Plantago major*, т.к. виды этих категорий считаются промысловыми. Для *Pinus sylvestris* и *Betula pendula* ресурсоведческие исследования излишни ввиду почти повсеместного распространения этих видов в Даурии. Для видов первой группы категории запасов требуется исследование экономической эффективности их заготовок, что должно определить целесообразность их заготовок для обеспечения потребностей страны либо региона.

Особого внимания и контроля требуют виды, у которых заготавливаются подземные органы, независимо от категории: *Acorus calamus*, *Bergenia crassifolia*, *Sanguisorba officinalis* и *Menyanthes trifoliata*.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, разнообразие фармакопейных видов на территории Забайкальского края в целом невелико, т.к. их местообитания занимают подчиненное положение в ландшафтах Забайкалья. Причиной этого являются радикальные отличия ландшафтной структуры и флоры Забайкалья от европейской территории России, где изучение лекарственной флоры имеет давнюю историю, в отличие от территорий Сибири и Дальнего Востока. На территории Забайкальского края выявлено 30 видов, включенных в XIV издание Государственной фармакопеи Российской Федерации. Ориентировочная оценка величины запасов позволяет выделить среди них следующие группы. К первой категории запасов отнесены пять широко распространенных видов (*Pinus sylvestris*, *Betula pendula*, *Padus avium*, *Vaccinium vitis-idaea*, *Ledum palustre*). Ко второй категории запасов, т.е. к растениям, которые возможно использовать для региональной аптечной сети, отнесены десять видов (*Crataegus dahurica*, *C. sanguinea*, *Rosa acicularis*, *R. davurica*, *Sanguisorba officinalis*, *Plantago major*, *Thermopsis lanceolata*, *Polygonum aviculares* sp. *heterophyllum*, *Capsella bursa-pastoris*, *Equisetum arvense*). К третьей категории отнесены восемь видов (*Menyanthes trifoliata*, *Hyoscyamus niger*, *Chelidonium majus*, *Bergenia crassifolia*, *Polygonum hydropiper*, *Populus suaveolens*, *Acorus calamus*, *Tanacetum vulgare*); их может использовать для собственных нужд местное население. Семь фармакопейных видов, произрастающих в Забайкальском крае, заготавливать нельзя, т.к. три из них (*Glycyrrhiza uralensis*, *Convallaria keiskei*, *Rhodiola rosea*) включены в Красную книгу Забайкальского края, а четыре (*Arctostaphylos uva-ursi*, *Vaccinium myrtillus*, *Carum carvi*, *Dryopteris filix-mas*), хотя и не относятся к охраняемым, имеют здесь единичные местонахождения.

В Забайкальском крае наиболее вероятно осуществление плановых заготовок 15 видов, главным образом, для обеспечения региональной аптечной сети. Наиболее перспективными для проведения ресурсоведческих исследований и планирования заготовок являются территории, относящиеся к Даурии Яблоновой и Даурии Аргунской, в силу наибольшего разнообразия в них фармакопейных видов.

Первоочередные ресурсоведческие исследования следует организовать для видов первой и второй категорий запасов лекарственного сырья. Фармакопейные виды, отнесенные нами к первой категории, нуждаются в оценке экономической целесообразности их заготовки для нужд страны ввиду значительной удаленности Забайкальского края от фармацевтических предприятий.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена на средства гранта РНФ и Забайкальского края по проекту № 2224-20080 от 25.03.2022 “Инвентаризация лекарственных растений Забайкальского края и оценка ресурсного потенциала лекарственных растений на примере сапожниковии растопыренной (*Saposhnikovia divaricata* (Turcz.) Schischk)”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Атлас Забайкалья (Бурятская АССР и Читинская область). 1967. М.; Иркутск. 167 с.
2. *Малышев Л.И., Пешкова Г.А.* 1984. Особенности и генезис флоры Сибири. (Предбайкалье и Забайкалье). Новосибирск. 264 с.
3. Растительные ресурсы СССР: Цветковые растения, их химический состав, использование. 1984–1993. Т. 1–7. Л.; СПб.

4. Растительные ресурсы России и сопредельных государств. 1994–1996. Т. 1–2. СПб.

5. Растительные ресурсы России. 2008–2016. Т. 1–7. СПб.

6. Методические рекомендации по заготовке, сбору и сушке лекарственного растительного сырья. 1982. Чита. 23 с.

7. Растения для нас. Справочное издание. 1996. М. 652 с.

8. *Гилева М.В.* 2010. Состояние ценопопуляций *Phlojodicarpus sibiricus* (Steph. ex Spreng.) K.-Pol. (сем. Apiaceae) в Восточном Забайкалье и их рациональное использование. Новосибирск. 112 с.

9. *Першина Н.А.* 2004. Биоморфологические и фитоценотические особенности *Bupleurum scorzonerifolium* Willd. (Apiaceae) в Восточном Забайкалье. – В сб.: Флора и растительность Даурии: исследования и охрана: Сборник научных статей. Чита. С. 69–73.

10. *Ткачук Т.Е.* 2004. Результаты изучения возрастной структуры ценопопуляций *Lespedeza juncea* (L. fil.) Pers. (Fabaceae) в Даурии. – В сб.: Флора и растительность Даурии: исследования и охрана. Сборник научных статей. Чита. С. 61–64.

11. *Щеглова С.Н.* 2009. Онтогенетическая структура ценопопуляций *Platycodon grandiflorus* (Jacq.) A.DC. (Campanulaceae) в условиях Восточного Забайкалья. – Растительный мир Азиатской России: Вестник Центрального сибирского ботанического сада СО РАН. 1(3): 88–93.

12. *Бухашеева Т.Г.* 2000. Эколого-биологические особенности *Scutellaria baicalensis* в Забайкалье: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Улан-Удэ. 18 с. https://www.dissercat.com/content/ekologo-biologicheskie-osobennosti-scutellaria-baicalensis-georgi-v-zabaikale

13. *Шишмарев В.М.* 2012. Эколого-биологическая оценка популяций *Scutellaria baicalensis* Georgi и *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn в Забайкалье: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Улан-Удэ. 20 с. https://www.dissercat.com/content/ekologo-biologicheskaya-otsenka-populyatsii-scutellaria-baicalensis-georgi-i-pteridium-aquil/

14. *Шишмарев В.М., Шишмарева Т.М., Оленников Д.Н.* 2022. Ресурсные характеристики *Scutellaria baicalensis* (Lamiaceae) в природных популяциях и в условиях интродукции. – Растительные ресурсы. 58(1): 29–42. https://elibrary.ru/item.asp?id=48050562

15. *Чудновская Г.В.* 2013. Роль эколого-биологической характеристики лекарственных растений Восточного Забайкалья в оценке урожайности их сырья. – Научные ведомости БелГУ. Серия Естественные науки. 24(167): 57–64. https://elibrary.ru/item.asp?id=21485877

16. *Буданцев А.Л., Харитонова Н.П.* 1999. Ресурсоведение лекарственных растений: методическое пособие к производственной практике для студентов фармацевтического факультета. СПб. 87 с.

17. Государственная фармакопея Российской Федерации XIII издание. 2015. Том III. С. 306–781. Федеральная электронная медицинская библиотека. https://femb.ru/record/pharmacopea13

18. Государственная фармакопея Российской Федерации XIV издание. 2018. Том IV. С. 5834–6675. Федеральная электронная медицинская библиотека. https://femb.ru/record/pharmacopea14

19. Флора Центральной Сибири. 1979. Т. 1–2. Новосибирск. 1046 с.

20. Флора Сибири. 1987–1997. Т. 1–13. Новосибирск.

21. *Крылова И.Л., Капорова В.И., Соболева Л.С., Киселева Т.М.* 1989. Методика ориентировочной оценки величины запасов лекарственного растительного сырья. – Растительные ресурсы. 25(3): 426–432.

22. *Николаев Н.А., Ливазан М.А., Скирденко Ю.П., Мартынов А.И.* 2019. Биологически активные растения и грибы Сибири в клинической медицине. Т. 1. М. 382 с. https://s.monographies.ru/doc/2019/03/file_5c90d9206e9e1.pdf

23. Красная книга Забайкальского края. Растения. 2017. Новосибирск. 384 с. http://www.oopt.aari.ru/ref/2021

24. Красная книга Российской Федерации (растения, грибы). 2008. М. 855 с. http://www.oopt.aari.ru/ref/38

25. Об утверждении лесного плана Забайкальского края: Постановление Губернатора Забайкальского края № 1. 2019. Официальное опубликование правовых актов. http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/7500201901140001

Assessment Of The Prospects For Using Pharmacopoeial Plants Of The Trans-Baikal Territory

O. A. Popova*, T. E. Tkachuk, N. A. Chashchina, A. P. Leskov, Y. V. Nikiforova, M. V. Laevskaya

Transbaikal State University, Chita, Russia

**e-mail: olga.popova-54@yandex.ru*

Abstract – The work represents a preliminary stage of resource studies of the Daurian part of the Trans-Baikal Territory. The XIVth edition of the State Pharmacopoeia of the Russian Federation (2018) includes 102 species of medicinal plants, of which 30 species are found in the Trans-Baikal Territory.
Using methods of approximate evaluation of the stocks of medicinal raw materials, we tentatively divided pharmacopeial species into three utilization groups: ten species can be harvested for the needs of the regional pharmacies, eight species can be collected for domestic use by local population, and only five widespread species (*Pinus sylvestris* L., *Betula pendula* Roth*, Padus avium* Mill.*, Vaccinium vitis-idaea* L.*, Ledum palustre* L.) can be used as a resource for the chemical and pharmaceutical industry of the Russian Federation. The remaining species *Arctostaphylos uva-ursi* (L.) Sprengel, *Vaccinium myrtillus* L., *Carum carvi* L., *Dryopteris filix-mas* (L.) Schott are found in sporadic locations, and *Glycyrrhiza uralensis* Fisch., *Rhodiola rosea* L., *Convallaria keiskei* Miq. is included in the 2017 Red Data Book of the Trans-Baikal Territory. Harvesting of these species is prohibited. It has been established that for the resource studies the most promising are 15 medicinal plant species, and the most promising locations are Yablonovay Range and Argun Dauria floristic regions due to the greatest diversity of pharmacopoeial medicinal plants there.

Keywords: Zabaikalsky kray, medicinal plants, pharmacopoeial plants, prospects for use

ACKNOWLEGEMENTS

The research was funded by the grant 22-24-20080 “Inventory of the medicinal plants and assessment of their resource potential in the Trans-Baikal Territory using the example of *Saposhnikovia divaricata* (Turcz.) Schischk” awarded by the Russian Science Foundation.

REFERENCES

1. [*Atlas* of the Transbaikalia: Buryat ASSR and Chita region]. 1967. Moscow; Irkutsk. 167 p. (In Russian)
2. *Malyshev L.I., Peshkova G.A.* 1984. [Features and genesis of the flora of Siberia: Pre-Baikal and Transbaikalia]. Novosibirsk. 364 p. (In Russian)
3. [*Plant* resources of the USSR: Flowering plants, their chemical composition and use]. 1984–1993. Vol. 1–7. Leningrad–St. Petersburg. (In Russian)
4. [*Plant* resources of Russia and neighboring countries]. 1994–1996. Vol. 1–2. St. Petersburg. (In Russian)
5. [*Plant* resources of Russia]. 2008–2016. Vol. 1–7. St. Petersburg. (In Russian)
6. [*Guidelines* on the preparation, collection and drying of medicinal plant raw materials]. 1982. Chita. 23 p. (In Russian)
7. [*Plants* for us. Reference book]. 1996. Moscow. 652 p. (In Russian)
8. *Gileva M.V.* 2010. [The state of *Phlojodicarpus sibiricus* (Steph. ex Spreng.) K.-Pol. (Apiaceae) coenopopulations in Eastern Transbaikalia and their sustainable management rational]. Novosibirsk. 112 p. (In Russian)
9. *Pershina N.A.* 2004. [Biomorphological and phytocenotic features of *Bupleurum scorzonerifolium* Willd. (Apiaceae) in Eastern Transbaikalia]. – In: [Flora and vegetation of Dauria: research and consrevation]. P. 69–73. (In Russian)
10. *Tkachuk T.E.* 2004. [Results of studying the age structure of *Lespedeza juncea* (L. fil.) Pers. (Fabaceae) cenopopulations in Dauria]. – In: [Flora and vegetation of Dauria: research and consrevation]. Chita. P. Chita. P. 61–64. (In Russian)
11. *Shcheglova S.N.* 2009. Ontogenetic structure of *Platycodon grandiflorus* (Jacq.) A. DC. (Campanulaceae) coenopopulations in East Zabaikalye. – Flora and Vegetation of Asian Russia. 1(3): 88–93. https://elibrary.ru/item.asp?id=13757319 (In Russian)

12. *Bukhasheeva T.G.* 2000. [Ecological and biological features of *Scutellaria baicalensis* in Transbaikalia: Abstr. ... Dis. Cand. (Biology) Sci.]. Ulan-Ude. 18 p. (In Russian)
https://www.dissercat.com/content/ekologo-biologicheskie-osobennosti-scutellaria-baicalensis-georgi-v-zabaikale (In Russian)

13. *Shishmarev V.M.* 2012. [Ecological and biological assessment of populations of *Scutellaria baicalensis* Georgi and *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn in Transbaikalia: Abstr. ... Dis. Cand. (Biology) Sci.]. Ulan-Ude. 20 p. (In Russian)
https://www.dissercat.com/content/ekologo-biologicheskaya-otsenka-populyatsii-scutellaria-baicalensis-georgi-i-pteridium-aquil (In Russian)

14. *Shishmarev V.M., Shishmareva T.M., Olennikov D.N.* 2022. *Scutellaria baicalensis* (Lamiaceae) in Natural Populations and under Cultivation. – Rastitelnye resursy. 58(1): 29–42. https://elibrary.ru/item.asp?id=48050562 (In Russian)

15. *Chudnovskaya G.V.* 2013. Ecological and biological description of the East Transbaikalia medicinal herbs role for the evaluation of their crude drugs productivity. – Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural Sciences. 24(167): 57–64.
https://elibrary.ru/item.asp?id=21485877 (In Russian)

16. *Budantsev A.L., Kharitonova N.P.* 1999. [Resource studies of medicinal plants]. St. Petersburg. 87 p. (In Russian)

17. *The State* Pharmacopoeia of the Russian Federation XIII edition. 2015. Vol. III. P. 306–781. Federal Electronic Medical Library.
https://femb.ru/record/pharmacopea13

18. *The State* Pharmacopoeia of the Russian Federation XIII edition. 2018. Vol. IV. P. 5834–6675. Federal Electronic Medical Library.
https://femb.ru/record/pharmacopea14

19. [*Flora* of Central Siberia]. 1979. Vol. 1–2. Novosibirsk. 1046 p. (In Russian)

20. [*Flora* of Siberia]. 1987–1997. Vol. 1–13. Novosibirsk. (In Russian)

21. *Krylova I.L., Kaporova V.I., Soboleva L.S., Kiseleva T.M.* 1989. [The method for approximate estimation of the stocks of medicinal plant raw materials]. – Rastitelnye resursy. 25(3): 426–432. (In Russian)

22. *Nikolaev N.A., Livazan M.A., Skirdenko Yu.P., Martynov A.I.* 2019. [Biologically active plants and fungi of Siberia in clinical medicine. Vol. 1.] Moscow. 382 p.
https://s.monographies.ru/doc/2019/03/file_5c90d9206e9e1.pdf

23. [*The Red* Data Book of the Trans-Baikal Territory. Plants]. 2017. Novosibirsk. 384 p.
http://www.oopt.aari.ru/ref/2021 (In Russian)

24. [*The Red* Data Book of the Russian Federation (Plants and Fungi)]. 2008. Moscow. 855 p.
http://www.oopt.aari.ru/ref/38 (In Russian)

25. [*On the approval* of the forest plan of the Trans-Baikal Territory: Resolution of the Governor of the Trans-Baikal Territory No. 1]. 2019. Official publications of legal acts.
http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/7500201901140001

РАСТИТЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ, 2024, том 60, вып. 1, с. 80–93

ИНТРОДУКЦИЯ РЕСУРСНЫХ ВИДОВ

УДК 630.181.28 (470.47)

ОСОБЕННОСТИ ВИДОВОГО СОСТАВА И СОСТОЯНИЯ ИНТРОДУЦЕНТОВ В ДЕНДРАРИЯХ ДЖАНЫБЕКСКОГО СТАЦИОНАРА В ПОЛУПУСТЫНЕ СЕВЕРНОГО ПРИКАСПИЯ

© 2024 г. М. Л. Сиземская*, М. К. Сапанов

Институт лесоведения РАН, с. Успенское, Московская обл., Россия

**e-mail: sizem@mail.ru*

Поступила в редакцию 13.10.2023 г.
После доработки 18.11.2023 г.
Принята к публикации 23.11.2023 г.

Представлены результаты изучения видового разнообразия и состояния интродуцентов в богарных условиях на территории Джаныбекского стационара Института лесоведения РАН, расположенного в глинистой полупустыне Северного Прикаспия междуречья Волги и Урала. Были обследованы коллекции двух дендрариев: на гидроморфных лугово-каштановых почвах мезопонижений рельефа – на падине (заложен в 1953 г.) и на автоморфных почвах солонцового комплекса (заложен в 1974 г.). Они создавались принципиально без полива, а агротехнические и лесоводственные уходы были вынужденно прекращены в силу ряда причин в последние десятилетия. Составлен аннотированный список древесных и кустарниковых растений, включающий на современном этапе 77 видов, относящихся к 25 семействам и 44 родам. Большинство представлено семейством Rosaceae, весьма многочисленны виды семейств Caprifoliaceae, Elaeagnaceae, Fagaceae, Fabacea, Oleaceae, Salicaceae, Sapindaceae, Ulmaceae. Часть экземпляров в возрасте более 70 лет имеет удовлетворительное состояние и полноценный жизнеспособный самосев. Выделены основные периоды акклиматизации, связанные с возрастом, особенностями изменения условий местопроизрастания под воздействием самих растений и климата. В дендрарии на почвах солонцового комплекса сохранность видов составила 50%. Также изучен состав деревьев и кустарников, спонтанно заселивших неиспользуемый пруд и сформировавших здесь интразональное ивово-лохово-тополевое сообщество квазитугайного облика, и на зарастающей залежи, где образовался своеобразный “саванноподобный” ландшафт. Это позволило выявить виды, жизненная стратегия которых способствует успешному внедрению в антропогеннонарушенные условия местопроизрастания и, в ряде случаев, проявлению черт натурализации и инвазионность. Определены также наиболее перспективные виды для озеленения, создания парков, ягодников и других насаждений в столь суровых природно-климатических условиях.

Ключевые слова: интродуценты, дендрарий, видовой состав, состояние

DOI: 10.31857/S0033994624010059, **EDN:** HBSEME

В исконно безлесных регионах дендрарии как платформа научных поисков потенциальных возможностей древесных и кустарниковых растений проявлять свои способности к акклиматизации в несвойственных для них условиях местопроизрастания представляют особый интерес [1–6]. Дендрарии Джаныбекского стационара Института лесоведения РАН – уникальные объекты, входящие в агролесомелиоративный комплекс, заложенный на богаре в начале 1950-х гг. в глинистой полупустыне Северного Прикаспия в междуречье Волги и Урала по обе стороны границы России (Волгоградская обл.) и Казахстана (Западно-Казахстанская обл.). Этот лесной оазис в полупустыне, включающий полезащитные и лесопастбищные системы, массивные насаждения, сады, ягодники, дендрарии, создавался без орошения как натурная модель для апробации научных разработок, полученных в ходе выполнения грандиозного проекта, так называемого сталинского “Плана преобразования природы”. Его задачей было, не в последнюю очередь, формирование комфортных условий для труда и отдыха людей в суровых природно-климатических условиях.

Цель работы – оценить видовой состав, современное состояние и перспективы дальнейшего существования коллекций интродуцентов в дендрариях Джаныбекского стационара, воз-

можность их спонтанного внедрения в антропогенные экотопы (неиспользуемые пруды и залежи), встречающиеся на исконно безлесной территории.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Район исследований характеризуется резко континентальным климатом с амплитудой температуры воздуха от +40°С до –40°С при среднегодовой +6.9°С. Среднегодовая сумма осадков составляет 295 ± 80 мм, за теплый период осадков выпадает 161 ± 72 мм, за холодный в 1.2 раза меньше – 134 ± 35 мм. Испаряемость около 900 мм. Почвенный покров представлен трехчленным солонцовым комплексом, обусловленным ярко выраженным микрорельефом. В нем автоморфные солончаковые солонцы на микроповышениях и солонцеватые светло-каштановые почвы на микросклонах занимают площадь 50% и 25% соответственно, а на гидроморфные лугово-каштановые почвы приходится 25%. Отличительной особенностью этой местности является наличие локальных замкнутых мезопонижений рельефа глубиной до 2 м и площадью от 1 до 100 га [7]. Эти понижения (так называемые “большие падины”) заняты незасоленными гидроморфными лугово-каштановыми почвами с пресноводными линзами на глубине 5.5–7.5 м, которые покоятся на засоленных грунтовых водах. Эти линзы образованы в результате инфильтрации талых вод при периодическом весеннем затоплении падин (раз в несколько лет).

В 1953 г. на одной из таких падин площадью 10 га был заложен дендрарий, представляющий собой куртинно-аллейные типы посадок. Планировка дендрария регулярная. Основное ядро составляет территория площадью около 6 га, разбитая аллеями на 8 кварталов. Было высажено 211 видов древесных и кустарниковых растений, относящихся к 33 семействам и 59 родам, из которых бóльшая часть прошла успешный эксперимент по акклиматизации [8, 9]. Это стало возможным благодаря продуманному научному подходу и учету потенциальных факторов риска их развития, например, вторичного засоления пресных линз. Для предотвращения этого процесса на падине с дендрарием были оставлены так называемые “магазины влаги” с чистым паром. Уходы за растениями проводились лишь в первые годы, затем, в силу ряда обстоятельств, в т.ч. межгосударственных научно-производственных трудностей, они сократились до минимума и состояли лишь в уборке упавших деревьев.

В 1974 г. на почвах солонцового комплекса после проведения предварительной мелиоративной вспашки был заложен еще один небольшой дендрарий площадью 0.7 га. Было высажено 62 вида деревьев и кустарников, относящихся к 42 родам и 22 семействам [9]. Здесь агротехнические уходы в междурядьях проводили до 2015 г.

Изучение современной сохранности коллекции интродуцентов проводили методом визуальной оценки наличия материнских деревьев и присутствия самосевных экземпляров и корневых отпрысков, формирующих клоновые древостои. Помимо инвентаризации видового состава в дендрариях провели рекогносцировочные исследования в искусственном понижении мезорельефа – заросшем древесной и кустарниковой растительностью неиспользуемом 40 лет пруду (в 300 метрах от дендрария на падине) и на старой 30-летней залежи с лугово-каштановыми почвами (в 100 метрах от дендрария на солонцовом комплексе). Это позволило оценить не только возможность деревьев и кустарников осваивать новые экологические ниши и закрепляться в них, но также и судить об их адаптивном потенциале и угрозе инвазионности. Составлен аннотированный список видов деревьев и кустарников, сохранившихся в коллекциях интродуцентов Джаныбекского стационара. Названия растений приводили согласно сводке “The Plant List” [10].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

По данным учетов 2023 г., в коллекции дендрария Джаныбекского стационара на лугово-каштановых почвах к 70 году его существования присутствует значительное количество сохранившихся видов. Современный список таксонов насчитывает 73 вида древесных и кустарниковых растений, относящихся к 23 семействам и 41 роду (табл. 1).

В настоящее время в Нижнем Поволжье в защитных насаждениях различных типов применяются 78 видов, гибридов и форм деревьев и кустарников, относящихся к 22 семействам и 45 родам [1, 11]. Сходное соотношение выявлено и нами. В дендрарии на падине бóльшая часть сохранившихся растений находится в удовлетворительном состоянии, их возраст превышает 70 лет (рис. 1, *a*–*c*), что представляет особый

Таблица 1. Аннотированный список видов, сохранившихся в дендрариях и других экотопах Джаныбекского стационара. Сентябрь 2023 г.
Table 1. Annotated list of the species surviving in arboreta and other ecotopes of the Dzhanybek Research station. September 2023

№	**Семейство/Family** **Род/Genus** Вид/Species	Дендрарий / Arboretum		Неиспользуемый пруд / Unused pond	Залежь / Fallow field
		в падине / on the mesodepression	на солонцовом комплексе / on the solonetzic complex		
	ADOXACEAE				
1	***Sambucus*** *S. racemosa* L.	M0C0			C1*
	AMARANTHACEAE				
2	***Haloxylon*** *H. ammodendron* (C.A. Mey.) Bge. ex Fenzl		M1C1		
	ANACARDIACEAE				
3	***Cotinus*** *C. coggygria* Scop.	M0C1	M1C0	C1	
4	***Rhus*** *R. typhina* L.	M0C1			
	BERBERIDACEAE				
5	***Berberis*** *B. vulgaris* L.	M1C2	M1C1	C2	C1
6	*B.v.* "*Atropurpurea*"	M1C1			
7	*B. nummularia* Bge.	M1C0			
	BETULACEAE				
8	***Betula*** *B. pendula* Roth.	M1C1			
9	***Corylus*** *C. avellana* L.	M2C0			
	BIGNONIACEAE				
10	***Catalpa*** *C. bignonioides* Walt.	M1C0			
	CANNABACEAE				
11	***Celtis*** *C. occidentalis* L.	M0C1		C1	
	CAPRIFOLIACEAE				
12	***Lonicera*** *L. tatarica* L.	M1C2	M1C1	C2	
13	***Symphoricarpos*** *S. albus* (L.) S.F. Blake	M1C1	M1C1		
	CELASTRACEAE				
14	***Euonymus*** *E. europaeus* L.	M0C1			

Таблица 1. Продолжение

	ELAEAGNACEAE				
15	***Elaeagnus*** *E. oxycarpa* Schltdl.	M0C1	M1C1	C2	C1
16	***Hippophae*** *H. rhamnoides* L.	M0C1		C2	
17	**Shephérdia** *S. argentea* (Pursh) Nutt.	M0C1	M1C1		
	FAGACEAE				
18	***Quercus*** *Q. borealis* F. Michx.	M2C2			
19	*Q. robur* L.	M2C1			
	GROSSULARIACEAE				
20	***Ribes*** *R. alpinum* L.	M2C0			
21	*R. aureum* Pursh.	M1C2	M1C2	C2	C1
	HYDRANGEACEAE				
22	***Philadelphus*** *Ph. coronarius* L.	M1C0			
	FABACEA				
23	***Amorpha*** *A. frutocosa* L.	M0C2			
24	***Caragana*** *C. arborescens* Lam.	M2C1	M2C1		
25	***Robinia*** *R. pseudoacacia* L.	M2C1			
26	***Halimodendron*** *H. halodendron* (Pall.) Voss		M1C2		
	MALVACEAE				
27	***Tilia*** *T. americana* L.	M0C1			
28	*T. cordata* Mill.	M0C1			
	OLEACEAE				
29	***Fraxinus*** *F. excelsior* L.	M1C1			
30	*F. pennsylvanica* Marsh.	M2C2	M1C1	C1	C1
31	***Syringa*** *S. persica* L.	M1C0			
32	*S. vulgaris* L.	M2C2	M2C2		
	PINACEAE				
33	***Pinus*** *P. sylvestris* L.	M0C1			

Таблица 1. Продолжение

	RHAMNACEAE				
34	***Rhamnus*** *R. cathartica* L.	M1C1	M1C1	C1	
	ROSACEAE				
35	***Amelanchier*** *A. alnifolia* (Nutt.) Nutt. ex M.Roem.	M1C1	M1C1	C1	C1
36	*A. spicata* (Lam.) C. Koch	M1C2	M1C1	C1	C1
37	***Chaenomeles*** *Ch. japonica* (Thunb.) Lindl. ex Spach	M0C1			
38	***Cotoneaster*** *C. lucidus* Schltdl.	M1C2	M1C1	C1	
39	*C. melanocarpus* Fisch. ex A.Blytt	M1C1			
40	*C. tomentosus* Lindl.	M0C1			
41	***Crataegus*** *Cr. arnoldiana* Sarg.	M1C0			
42	*Cr. korolkowii* Regel ex C.K. Schneid.	M1C1		C1	
43	*Cr. monogyna* Jacq.	M1C1	M1C1	C1	
44	*Cr. submollis* Sarg.	M1C1		C1	
45	***Malus*** *M. baccata* (L.) Borkh.	M1C0			
46	*M. prunifolia* (Willd.) Borkh	M1C1			C1
47	*M. sylvestris* Mill.	M1C1	M1C1	C1	C2
48	***Prunus*** *P. armeniaca* L.	M1C0			
49	*P. cerasifera* Ehrh.	M1C1			
50	*P. cerasus* L.	M2C1			
51	*P. mahaleb* L.	M0C1			
52	*P. padus* L.	M1C1			
53	*P. serotine* Ehrh.	M1C2			
54	*P. spinosa* L.	M1C2	M2C2	C1	C1
55	*P. tenella* Batsch.	M1C1			
56	*P. virginiana* L.	M1C2	M1C2	C1	C1
57	***Pyrus*** *P. communis* L.	M1C1	M1C1	C1	C1

Таблица 1. Окончание

58	***Rosa*** *R. acicularia* Lindl.	M0C1	M1C1	C1	C1
59	*R. canina* L.	M0C1	M2C1	C1	C1
60	*R. rugosa* Thunb.	M1C1	M1C1	C1	C1
61	***Sorbus*** *S. mougeotii* Soy.-Will. & Godr.	M0C1			
62	***Spiraea*** *S. hypericifolia* L.	M1C1	M1C1		
	RUTACEAE				
63	***Ptelea*** *P. trifoliata* L.	M0C1			
	SALICACEAE				
64	***Populus*** *P. alba* L.	M2C2	M1C1	C2	
65	*P.* × *berolinensis* Dippel	M1C0			
66	*P. nigra* L.			C2	
67	*P. nigra* var. *italica* Münchh.	M1C1			
68	***Salix*** *S. caspica* Pall.	M1C0		C2	
	SAPINDACEAE				
69	***Acer*** *Acer negundo* L.	M1C1	M1C1	C2	C1
70	*A. platanoides* L.	M1C2			
71	*A. semenovii* Regel & Herd.	M2C1		C1	
72	*A. tataricum* L.	M2C2	M1C1		
	TAMARICACEAE				
73	***Tamarix*** *T. ramosissima* Ledeb.	M1C1	M1C1		
	ULMACEAE				
74	***Ulmus*** *U. laevis* Pall.	M1C0			
75	*U. minor* Mill.	M1C1	M1C1	C1	C1
76	*U. pumila* L.	M1C1	M1C1	C1	C2
	VITACEAE				
77	***Vitis*** *V. rupestris* Scheele	M2C1			

Примечание. M – материнские деревья: M0 – экземпляры не сохранились, M1 – сохранились единично, M2 – сохранилась бóльшая часть; C – возобновление в виде самосева / корневых отпрысков: C0 – возобновление отсутствует, C1 – самосев единичный, C2 – самосев обильный.
* – найден в глубокой яме в мезопонижении рельефа вне представленных экотопов.
Notes. M – parent trees: M0 – no specimens survived, M1 – single specimens survived, M2 – most of specimens survived; C – natural regeneration in the form of self-seeding/root suckers: C0 – no natural regeneration, C1 – single self-seeded plants, C2 – abundant self-seeding.
* – found in a deep pit outside the represented ecotopes.

научный интерес, учитывая несвойственные многим видам условия местопроизрастания. Некоторые растения дают обильный самосев или успешно возобновляются корневыми отпрысками (табл. 1). Однако, судя по тому, что на современном этапе основную долю коллекции (более 60%) составляют виды, сохранившиеся в единичных экземплярах и/или с единичным самосевом, следует ожидать массовый отпад многих представителей интродуцентов (рис. 2, *a*).

В целом, сохранность коллекции составляет 35% от ее первоначального состояния в середине XX в., что является не совсем объективным показателем, учитывая, что уже в первые годы акклиматизации выпали многие десятки видов, биология которых не соответствовала почвенно-климатическим условиям местопроизрастания, а в дальнейшем, в отсутствие ухода, процесс отпада усилился.

В дендрарии на почвах солонцового комплекса (рис. 1, *d*) к 2023 г., в основном по западинам, сохранился 31 вид, относящийся к 14 семействам и 25 родам. Как и в дендрарии на падине, основная часть сохранившихся интродуцентов (рис. 2, *b*) представлена единичными экземплярами и/или единичным самосевом (более 75%).

В заброшенном пруду найдено 29 видов спонтанно внедрившихся деревьев и кустарников (рис. 1, *e*). Они относятся к 12 семействам и 20 родам. На старой залежи в падине (рис. 1, *f*) выявлено 17 видов из 7 семейств и 11 родов.

Наибольшее число видов (28), составляющее около 37% от их общего количества, ожидаемо относится к семейству розовых (Rosaceae). Такое же соотношение отмечается, например, в дендрариях, относящихся к ФНЦ агроэкологии РАН [12]. Эти виды входят в 10 родов, широко используемых в защитном лесоразведении в аридных регионах. Безусловно, их сохранность и хорошее состояние свидетельствуют о большом потенциале и перспективности для озеленения. Их устойчивость во времени определяется способностью к активному семенному возобновлению за счет широкого анемо- и зоохорного распространения. Именно этим объясняется и их высокая инвазионная активность, отмечаемая в дендрариях многих регионов [13]. 13 видов этого семейства (ирга ольхолистная (*Amelanchier alnifolia*) и колосистая (*A. spicata*), кизильник бле-

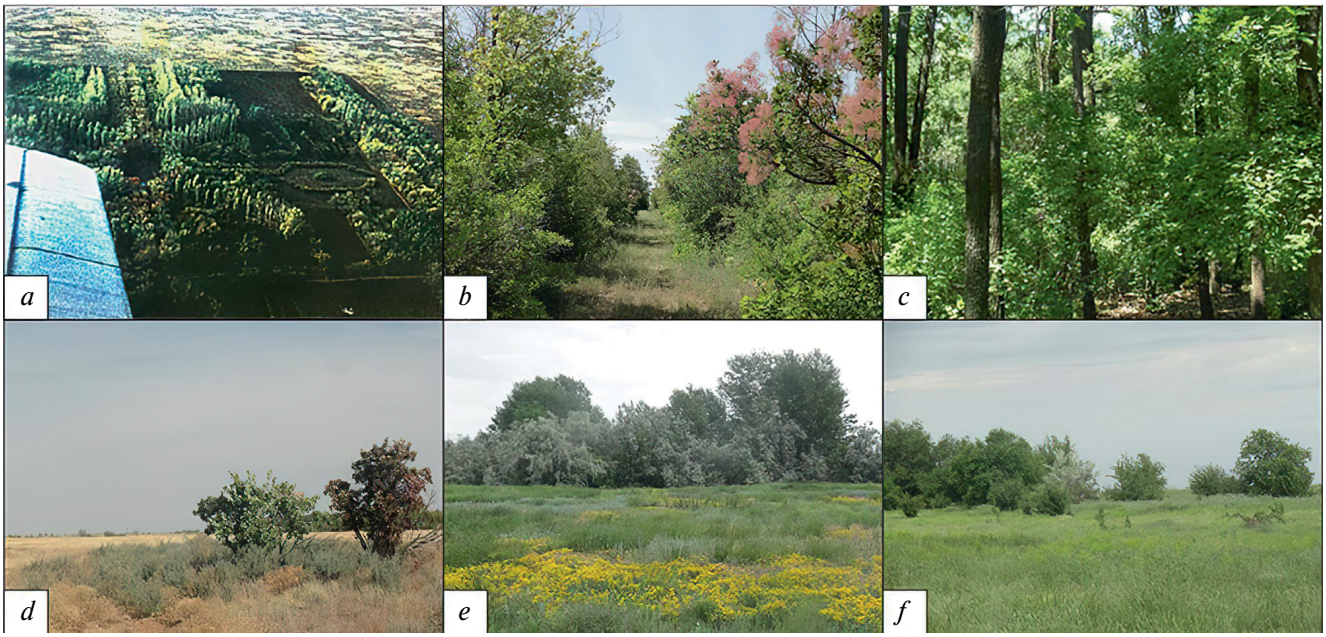


Рис. 1. Дендрарий на лугово-каштановых почвах в большой падине: вид сверху (*a*), главная аллея дендрария (*b*), массивное насаждение дуба черешчатого (*c*), участок дендрария на почвах солонцового комплекса (*d*), заросший пруд (*e*), заросшая залежь (*f*).
Fig. 1. Arboretum on meadow-chestnut soils of a large mesodepression: aerial view (*a*), main aisle of the arboretum (*b*), massive oak plantings (*c*), arboretum on the soils of solonetzic complex (*d*), overgrown unused pond (*e*), overgrown fallow field (*f*).

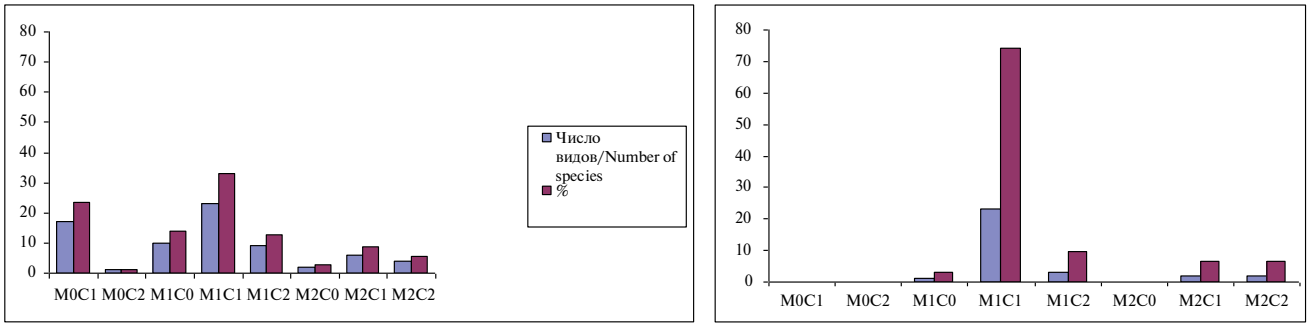


Рис. 2. Соотношение количества сохранившихся видов материнских (М) и самосевных (С) экземпляров в дендрариях Джаныбекского стационара на лугово-каштановых почвах (А) и на солонцовом комплексе (В).
Примечание: Обозначения те же, что в Табл. 1.
Fig. 2. The ratio of the surviving species of the parent (M) and self-seeded (C) specimens in the arboreta of the Dzhanybek Research Station on meadow-chestnut soils (A) and on the solonetzic complex (B).
Note: The survival designations as in the Table 1.

стящий (*Cotoneaster lucidus*), боярышники полумягкий (*Crataegus monogyna*), б. однопестичный (*Cr. submollis*) и б. Королькова (*Cr. korolkowii*), яблоня лесная (*Malus sylvestris*), черемуха виргинская (*Prunus virginiana*), терн (*Pr. spinosa*), груша обыкновенная (*Pyrus communis*), розы морщинистая (*Rosa rugosa*), иглистая (*R. acicularia*) и собачья (*R. canina*) спонтанно заселили склоны неиспользуемого пруда, дают обильный жизнеспособный самосев и продолжают оставаться самой массовой группой вселенцев. Активно осваивая залежь, 10 видов этого семейства формируют своеобразный “саванноподобный” ландшафт (рис. 1, *f*).

Семейство бобовых (Fabaceae) представлено 4 видами, относящимися к 4 родам. Из них только карагана древовидная (*Caragana arborescens*) успешно произрастает как в дендрарии в падине, так и на почвах солонцового комплекса и дает самосев. Робиния псевдоакация (*Robinia pseudoacacia*) растет только на лугово-каштановых почвах в дендрарии на падине, а чингиль (*Halimodendron halodendron*) – в дендрарии на солонцах (рис. 1, *d*).

Семейство лоховые (Elaeagnaceae) представлено тремя родами (лох, облепиха и шефердия) и тремя видами, из которых лох остроплодный (*Elaeagnus oxycarpa*) встречается во всех изученных экотопах, дает многочисленный жизнеспособный самосев и может осваивать различные местообитания. В неиспользуемом пруду на днище он сформировал особый ландшафт квазитугайного облика (рис. 1, *e*), став доминантом [14, 15]. Массовое расселение разных видов лоха по антропогенным местообитаниям и его натурализация в естественных ценозах отмечаются во многих регионах [16, 17]. Облепиха (*Hippophae rhamnoides*) на падине сохранилась лишь в виде корневых отпрысков от погибших материнских кустарников (особей), но спонтанно проникла на склоны неиспользуемого пруда, сформовав небольшую куртину.

Семейство сумаховых (Anacardiaceae) представлено двумя родами (скумпия и сумах), по одному виду каждого рода. При этом сумах оленерогий (*Rhus typhina*) сохранился в коллекции дендрария на падине лишь в виде единичных разновозрастных корневых отпрысков. Материнские кустарники (особи) погибли от экстремальных морозов. Самосев скумпии (*Cotinus coggygria*) встречается почти во всех изученных экотопах.

В семействе березовых (Betulaceae) отмечены два рода: береза и лещина. Береза повислая (*Betula pendula*) достигла практически своего предельного возраста и находится в угнетенном состоянии. Кусты лещины (*Corylus avellana*) периодически обновляются, но самосева не дают.

Семейство маслиновых (Oleaceae) представлено двумя родами (ясень и сирень) и четырьмя видами. Из них ясень обыкновенный (*Fraxinus excelsior*) и ясень пенсильванский (*F. pennsylvanica*) находятся в хорошем состоянии, а последний встречается во всех изученных экотопах, давая обильный самосев. Сирень обыкновенная (*Syringa vulgaris*) весьма распространена

в обоих дендрариях. Сирень персидская (*S. persica*) в виде одного старого куста сохранилась в коллекции дендрария на падине.

Четырьмя видами представлен род тополь семейства ивовых (Salicaceae). Особенно заслуживает внимания тополь белый (*Populus alba*), образовавший целые рощи из разновозрастных клонов, как в дендрарии на падине, так и на днище пруда. Спонтанно внедрившийся тополь черный (*P. nigra*) отмечен только на днище пруда, в то время как в дендрарии на падине сохранились порослевые экземпляры тополей пирамидального (*P. nigra* var. *italica*) и берлинского (*P.* x *berolinensis*). Род ива представлен аборигенным видом – ивой каспийской (*Salix caspica*). В дендрарии на падине сохранились лишь единичные усыхающие экземпляры, не дающие самосев, однако в неиспользуемом пруду этот вид вместе с лохом сформировал интразональное ивово-лохово-тополевое сообщество квазитугайного облика [14, 15].

Семейство жимолостных (Caprifoliaceae) представлено двумя видами (жимолость татарская (*Lonicera tatarica*) и снежноягодник (*Symphoricarpos albus)*) из двух родов, при этом только жимолость встречается почти во всех изученных экотопах, давая обильный, многочисленный, разновозрастный самосев. Снежноягодник растет кучно, образуя куртину из постоянно обновляющихся кустов.

В семействе сапиндовые (Sapindaceae) род клен представлен четырьмя видами, экземпляры которых хорошо сохранились и дают многочисленный самосев, особенно клены татарский *(Acer tataricum*) и ясенелистный (*A. negundo*). Последний вид проявляет некоторые признаки инвазионности даже в этом регионе [18]. Клен остролистный (*A. platanoides*) представлен многочисленным разновозрастным самосевом по всему дендрарию.

Тремя видами представлен род барбарис семейства барбарисовых (Berberidaceae). Почти все они отличаются хорошей сохранностью и возобновлением, а барбарис обыкновенный (*Berberis vulgaris*) дает многочисленный самосев во всех исследованных местообитаниях.

Семейство ильмовых (Ulmaceae) представлено тремя видами рода вяз: вяз гладкий (*Ulmus laevis*), берест (*U. minor*) и вяз приземистый (*U. pumila*). Два последних встречаются на всех изученных участках, что неудивительно, учитывая, что именно эти виды, особенно вяз приземистый, являются основными в защитном лесоразведении региона.

В семействе буковых (Fagaceae) род дуб представлен двумя видами: дуб северный (*Quercus borealis*) и дуб черешчатый (*Q. robur*). Сохранилась основная часть материнских деревьев дуба северного в куртинных посадках. Массивное насаждение дуба черешчатого (рис. 1, *c*) со сформировавшейся ярусной структурой и подлеском по своему облику и особенностям наиболее близко к южнорусским широколиственным лесам [19].

Семейство крыжовниковые (Grossulariaceae) представлено одним родом смородина и двумя видами: смородиной альпийской (*Ribes alpinum*), не дающей самосева, и смородиной золотой (*R. aureum*), “захватившей” все экотопы за счет многочисленного самосева.

Из семейства мальвовых (Malvaceae) сохранились представители только одного рода – липа. Материнские экземпляры липы американской (*Tilia americana*) и липы сердцевидной (*T. cordata*) погибли несколько лет назад, однако сохраняется малочисленный самосев.

Остальные семейства представлены одним родом и, в основном, одним видом. Бузина красная (*Sambucus racemosa*) из семейства адоксовые (Adoxaceae) сохранилась в глубокой траншее, в 500 м от дендрария. Растение обильно плодоносит. В самом дендрарии оно отсутствует.

Семейство амарантовые (Amaranthaceae) представлено родом саксаул. Саксаул зайсанский (*Haloxylon ammodendron*), сохранившийся в единичном экземпляре в дендрарии на почвах солонцового комплекса, периодически дает многочисленный самосев.

Семейство бигнониевых (Bignoniaceae) представлено родом катальпа. Катальпа бигнониевидная (*Catalpa bignonioides*) была высажена на центральной аллее дендрария в падине. В настоящее время сохранились лишь единичные усыхающие экземпляры, самосева нет.

Еще 20 лет назад полностью погибла куртина каркаса западного (*Celtis occidentalis*), однако до сих пор, что удивительно, в разных местах дендрария на падине можно найти самосев этого представителя семейства коноплевых (Cannabaceae), он также встречается и на склонах пруда.

В небольшом количестве в дендрарии на падине сохранились: бересклет европейский (*Euonymus*

europaeus) семейства бересклетовых (Celastraceae), чубушник венечный (*Philadelphus coronarius*) семейства гортензиевых (Hydrangeaceae), птелея трехлистная (*Ptelea trifoliata*) семейства рутовых (Rutaceae), виноград скальный (*Vitis rupestris*) семейства виноградовые (Vitaceae). Тамарикс ветвистый (*Tamarix ramosissima*) семейства тамариксовые (Tamaricaceae) сохранился как по краям падины, так и в дендрарии на почвах солонцового комплекса. Жостер слабительный (*Rhamnus cathartica*) семейства крушиновых (Rhamnaceae) встречается почти во всех экотопах.

Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*) семейства сосновые (Pinaceae), к сожалению, после резкого ухудшения состояния в 70-летнем возрасте, в 2023 г. погибла. Встречается единичный самосев.

В целом, проведенный анализ показал, что видовое разнообразие интродуцентов дендрариев Джаныбекского стационара во многом поддерживается за счет “ротации” поколений деревьев и кустарников. Гибель материнских экземпляров при сохранении самосевных или корнеотпрысковых экземпляров тех или иных видов в последние десятилетия не вызывает резкого сокращения списка видов.

В процессе акклиматизации интродуцентов выделяется начальный период, который характеризуется гибелью тех растений, биология которых не соответствует климатическим условиям местопроизрастания. В первые же годы после посадки погибли десятки видов, которые подверглись вымерзанию или не смогли перенести длительный период летней засухи: орех грецкий (*Juglans regia*), буддлея (*Buddleja davidii*), пузырник (*Colutea*), ракитник австрийский (*Cytisus austriacus*), магония падуболистная (*Mahonia aquifolium*), чубушник Левиза (*Philadelphus lewisii*), сосна горная (*Pinus mugo*), сирень амурская (*Syringa amurensis*), леспедеца (*Lespedeza*) и др. [8].

После 45 лет акклиматизации для интродукции были рекомендованы дуб черешчатый, береза повислая, виды липы, клена, рябина (*Sorbus aucuparia*) и др. Список насчитывал около 100 видов деревьев и кустарников, причем, преимущественно, это были мезофилы бореального происхождения [9].

Во второй период с начала 90-х гг. прошлого века стали погибать те растения, которые не выдерживали постепенного засоления пресных линз грунтовых вод по мере их исчерпания, вызванного сильной десукцией. Вследствие этого многие виды переставали использовать засоляющуюся воду из линз и постепенно усыхали, т.к. влаги из верхних горизонтов почвы было недостаточного для нормального функционирования интродуцентов [19]. Выжили деревья и кустарники, которые имеют преимущественно поверхностную корневую систему и/или используют воду из засоляющейся линзы. К таким интродуцентам относятся, например, ясень пенсильванский, жимолость татарская, сирень обыкновенная, ирга, тополь белый, барбарис обыкновенный, черемуха виргинская, карагана древовидная. В это же время дендрарии вынужденно были оставлены без лесоводственных и агротехнических уходов, лишь в некоторых случаях убирался валежник. Это привело к существенному сокращению их коллекции, а также к появлению излишнего многочисленного жизнеспособного самосева некоторых видов деревьев и кустарников, в том числе, на полянах с чистым паром – “магазинах влаги” [20].

Третий период, наблюдаемый с начала 2000-х годов, характеризуется участившимися засухами и отсутствием пополнения падин влагой во время весеннего стока талых вод [21], что существенным образом ухудшило эти условия местопроизрастания. Оказалось, что к 60-летнему возрасту насаждений пресная линза грунтовых вод исчерпалась из-за высокой десуктивной нагрузки, поэтому многие материнские деревья погибли вследствие уменьшения влагообеспеченности. К сожалению, полностью выпали некоторые интересные виды: гледичия (*Gleditsia triacanthos*), лиственница сибирская (*Larix sibirica*), клены сахарный (*Acer saccharum*) и серебристый (*A. saccharinum*), рябина обыкновенная, каштан конский (*Aesculus hippocastanum*), достигшие предельного для них 40–60-летнего возраста. В угнетенном виде находятся куртины березы, аллеи катальпы и тополей (кроме тополя белого), загущенные участки дуба черешчатого. В целом, современное состояние интродуцентов определяется комплексом факторов: предельным возрастом, ухудшением почвенно-гидрологических условий мест произрастания, негативным климатогенным воздействием, отсутствием ухода, возрастающей межвидовой конкуренцией. Тем не менее, современный уточненный состав интродуцентов позволяет выделить основное “ядро” видов, которые на основании столь продолжительного эксперимента могут быть

рекомендованы к широкому внедрению в практику озеленения этого региона и создания устойчивых насаждений на лугово-каштановых почвах.

Виды, которые, обладают широкой экологической пластичностью, большим адаптивным потенциалом [15], спонтанно внедряются и закрепляются на нарушенных землях, иногда представляют угрозу как инвазионные. К ним относятся: барбарис обыкновенный, лох остроплодный, смородина золотая, ясень пенсильванский, ирга ольхолистная и колосистая, яблоня лесная, терн, черемуха виргинская, груша обыкновенная, шиповники, клен ясенелистный, берест, вяз приземистый. Они составляют 20% списка (табл. 1), встречаются во всех изученных экотопах, а многие из них входят в т.н. “Черную книгу...” и относятся к чужеродным видам [22, 23], контроль за распространением которых обычно требует интегрированных усилий, а также превентивных, сдерживающих и смягчающих мер [6, 24]. Но, учитывая, что для успешных инвазий в условиях полупустыни необходимо сочетание ряда факторов: близость источника жизнеспособных семян, дополнительное увлажнение, нарушенность почвенного и растительного покровов, отсутствие конкуренции с естественной растительностью, ограничение пастьбы, такие инвазии представляются нам малозначимыми и/или кратковременно действующими. В то же время, эти же виды, при условии грамотного ведения лесного хозяйства могут применяться для создания устойчивых и долговечных самовозобновляющихся насаждений разного функционального назначения. В целом, этот многолетний научный эксперимент позволил также выявить потенциальную возможность собственного долголетия и возобновительную способность интродуцентов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Натурный эксперимент по созданию в начале 1950-х годов искусственных лесных экосистем без полива в полупустыне Северного Прикаспия представлял собой попытку интродукции деревьев и кустарников в несвойственные для них условия местопроизрастания. Формирование дендрариев на территории Джаныбекского стационара на многие десятилетия стало важной составляющей научных исследований самой возможности выращивания здесь разнообразных древесных и кустарниковых растений и особенностей их акклиматизации.

В этих условиях их сохранность и устойчивое функционирование не в последнюю очередь определяется выбором ассортимента деревьев и кустарников с наилучшим собственным долголетием и/или возобновительной способностью (семенной и вегетативной). В этом отношении показателен 73-летний интродукционный эксперимент Джаныбекского стационара – одного из первых “полигонов”, где было доказано, что при правильном научном подходе, даже при отсутствии агротехнического и лесоводственного ухода в течение многих десятилетий, сохраняется жизнеспособность многих видов в коллекциях дендрариев.

Проведенный анализ состояния этих коллекций и оценка видового разнообразия сообществ, спонтанно сформировавшихся в искусственном мезопонижении рельефа (интразональный ивово-лохово-тополевый квазитугай) и на залежи (“саванноподобный” ландшафт), позволили оценить перспективность их существования в несвойственных для них условиях местопроизрастания. Уточненный видовой состав сохранившихся интродуцентов позволяет более обоснованно подходить к созданию устойчивых долговечных насаждений в аридных регионах.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного Фонда. Проект № 23-24-00164.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Семенютина А.В.* 2013. Дендрофлора лесомелиоративных комплексов. Волгоград. 266 с. https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28414299
2. *Brand D., Moshe I., Shachak M.* 2015. Functional Rehabilitation of Desertified Ecosystems in Israel: Ecological and Socioecological Perspectives. – In: Living Land. UNCCD. P. 88–92. https://catalogue.unccd.int/562_Living_Land_ENG.pdf
3. *Vlasenko A.* 2015. Analysis of *ex situ* cultivation of Ukrainian rare steppe dendroflora. – Biological Bulletin of Bogdan Chmelnitskiy Melitopol State Pedagogical University. 5(1): 24–47. https://www.ujecology.com/articles/analysis-of-ex-situ-cultivation-of-ukrainian-rare-steppe-dendroflora.pdf (на украинском)

4. *Sun R., Tian T.* 2016. Houston Arboretum & Nature Center, Texas. – Landsc. Archit. Front. 4(3): 86–99. https://journal.hep.com.cn/laf/EN/Y2016/V4/I3/86
5. *Boiko T.O., Dementieva O.I.* 2018. The tree vegetation of the Kherson State Agrarian University Arboretum. – Ukrainian Journal of Ecology. 8(2): 120–127. https://www.ujecology.com/articles/the-tree-vegetation-of-the-kherson-state-agrarian-university-arboretum.pdf (на украинском)
6. *Burda R.I., Koniakin S.N.* 2019. The non-native woody species of the flora of Ukraine: Introduction, naturalization and invasion. – Biosyst. Divers. 27(3): 276–290. https://doi.org/10.15421/011937
7. *Биогеоценотические* основы освоения полупустыни Северного Прикаспия. 1974. М. 360 с.
8. *Карандина С.Н., Эрперт С.Д.* 1972. Климатическое испытание древесных пород в Прикаспийской полупустыне. М. 127 с.
9. *Сенкевич Н.Г., Оловянникова И.Н.* 1996. Интродукция древесных растений в полупустыне Северного Прикаспия. М. 184 с.
10. *The Plant list*. Version 1.1. September 2013. WFO (2023): The World Flora Online. https://www.worldfloraonline.org/
11. *Семенютина А.В., Терешкин А.В.* 2016. Защитные лесные насаждения: анализ видового состава и научные основы повышения биоразнообразия дендрофлоры. – Успехи совр. естеств. 4: 99–104. https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=35870
12. *Семенютина А.В., Долгих А.А., Панов В.И., Зеленяк А.К.* 2016. Интродукция как способ повышения биоразнообразия и обогащения дендрофлоры аридных территорий. – Социально-экологические технологии. 3: 47–54. http://soc-ecol.ru/introduktsiya-kak-sposob-povysheniya-bioraznoobraziya-i-obogashheniya-dendroflory-aridnyh-territorij/
13. *Яценко И.О., Виноградова Ю.К.* 2018. Инвазионная активность древесных растений в Главном ботаническом саду им. Н.В. Цицина Российской академии наук. – Российский журнал биологических инвазий. 4: 117–131. http://www.sevin.ru/invasjour/issues/2018_4/Yatsenko_18_4.pdf
14. *Сиземская М.Л., Копыл И.В., Сапанов М.К.* 1995. Заселение древесно-кустарниковой растительностью искусственных понижений мезорельефа в полупустыне Прикаспия. – Лесоведение. 1: 15–23. https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21267005
15. *Сиземская М.Л., Елекешева М.М., Сапанов М.К.* 2020. Формирование лесных биогеоценозов на нарушенных землях Северного Прикаспия. – Поволж. экол. журн. 1: 86–98. https://doi.org/10.35885/1684-7318-2020-1-86-98
16. *Березуцкий М.А., Завьялов Е.В., Мосолова Е.Ю., Табачишин В.Г., Якушев Н.Н.* 2008. О натурализации и некоторых биотических связях лоха остроплодного (*Elaeagnus oxycarpa* Schlecht.) на территории Саратовской области. – Бюлл. бот. сада Саратовского госуд. универ. 7: 52–59. https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28781130
17. *Zhang X., Li G., Du S.* 2018. Simulating the Potential Distribution of *Elaeagnus angustifolia* L. Based on Climatic Constraints in China. – Ecol. Eng. 113: 27–34. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.01.009
18. *Сапанов М.К., Сиземская М.Л.* 2021. Экологические особенности возобновления клена ясенелистного в аридных регионах России. – Лесоведение. 3: 325–334. https://doi.org/10.31857/S0024114821030098
19. *Сапанов М.К.* 2003. Экология лесных насаждений в аридных регионах. Тула. 248 с.
20. *Сапанов М.К.* 2010. Влияние изменения климата на обводненность Северного Прикаспия. – Аридные экосистемы. 16 (5): 25–30. 16(5): 25–30. https://www.elibrary.ru/item.asp?id=15487267
21. *Сапанов М.К.* 2018. Экологические последствия потепления климата в Северном Прикапии. – Аридные экосистемы. 24(1): 21–33. https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32570974
22. *Виноградова Ю.К., Майоров С.Р., Хорун Л.В.* 2010. Черная книга флоры Средней России: Чужеродные виды растений в экосистемах Средней России. М. 503 с. https://www.rfbr.ru/rffi/ru/books/o_26717
23. *Nentwig W., Bacher S., Kumschick S., Pyšek P., Vilà M.* 2018. More than "100 worst" alien species in Europe.– Biol. Invasions. 20(6): 1611–1621. https://doi.org/10.1007/s10530-017-1651-6
24. *van Kleunen M., Dawson W., Essl F., Pergl J., Winter M., Weber E., et al.* 2015. Global exchange and accumulation of non-native plants. – Nature. 525(7567): 100–103. https://doi.org/10.1038/nature14910

Features Of The Introduced Species Composition And State In The Arboreta Of Dzhanybek Research Station In The Northern Pre-Caspian Semi-Desert

M. L. Sizemskaya*, M. K. Sapanov

Institute of Forest Science, RAS, Uspenskoe, Moscow Region, Russia

**e-mail: sizem@mail.ru*

Abstract – The results of studying introduced species diversity and state under rainfed conditions at the Research station of the Institute of Forest Science of the Russian Academy of Sciences have been presented. The station is located in the clay semi-desert of the Northern Pre-Caspian region between the Volga and Ural rivers. The collections of two arboreta were examined. The first arboretum was established in 1953 on hydromorphic meadow-chestnut soils of large mesodepressions, and the second – in 1974 on solonetzic automorphic soils. The arboreta were originally established with an idea of complete elimination of irrigation. In recent decades, tending and silvicultural treatments were discontinued for a number of reasons. An annotated list of tree and shrub species includes 77 species belonging to 25 families and 44 genus. In the arboretum on the large mesodepression, the number of species surviving for more than half a century is 35% in relation to the number of "core" introduced species. Mostly, the species are represented by the families Rosaceae, Caprifoliaceae, Elaeagnaceae, Fagaceae, Fabacea, Oleaceae, Salicaceae, Sapindaceae, Ulmaceae. Some specimens older than 70 years are in satisfactory condition and produce viable volunteer regrowth. The main stages of their acclimatization, in relation to age, and changes in growing conditions, as affected by plants themselves as well as climate, are distinguished. In arboretum on solonetzic soils, the survival of species is 50%. The composition of tree and shrub vegetation of an unused pond, where spontaneous vegetation formed an intrazonal willow-oleaster-poplar community of quasi-riparian type, and of the overgrowing fallow land, where a specific "savannah-like" landscape was formed, have been studied. This allowed to identify the species whose life strategy contributes to their successful colonization of human-disturbed habitats and, in some cases, manifestation of the features of naturalization and invasiveness. The most promising species for landscaping, parks and other plantings in such harsh natural and climatic conditions were also determined.

Keywords: introduced species, arboretum, species composition, conditions

ACKNOWLEDGMENTS

The study was supported by the Russian Science Foundation, grant No. 23-24-00164.

REFERENCES

1. *Semenyutina A.V.* 2013. Dendroflora of forest-meliorative complexes. Volgograd. 266 p. https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28414299 (In Russian)
2. *Brand D., Moshe I., Shachak M.* 2015. Functional rehabilitation of desertified ecosystems in Israel: Ecological and socioecological perspectives. – In: Living Land. UNCCD. P. 88–92. https://catalogue.unccd.int/562_Living_Land_ENG.pdf
3. *Vlasenko A.* 2015. Analysis of Ex Situ Cultivation of Ukrainian Rare Steppe Dendroflora. – Biological Bulletin of Bogdan Chmelnitskiy Melitopol State Pedagogical University. 5(1): 24–47. https://www.ujecology.com/articles/analysis-of-ex-situ-cultivation-of-ukrainian-rare-steppe-dendroflora.pdf (In Ukrainian)
4. *Sun R., Tian T.* 2016. Houston Arboretum & Nature Center, Texas. – Landsc. Archit. Front. 4(3): 86–99. https://journal.hep.com.cn/laf/EN/Y2016/V4/I3/86
5. *Boiko T.O., Dementieva O.I.* 2018. The tree vegetation of the Kherson State Agrarian University Arboretum. – Ukrainian Journal of Ecology. 8(2): 120–127. https://www.ujecology.com/articles/the-tree-vegetation-of-the-kherson-state-agrarian-university-arboretum.pdf (In Ukrainian)
6. *Burda R.I., Koniakin S.N.* 2019. The non-native woody species of the flora of Ukraine: Introduction, naturalization and invasion. – Biosyst. Divers. 27(3): 276–290. https://doi.org/10.15421/011937
7. [*Biogeocoenotic* principles of the reclamation of the Northern Caspian semi-desert]. 1974. Moscow. 360 p. (In Russian)

8. *Karandina S.N., Erpert S.D.* 1972. [Climatic testing of tree species in the Caspian semi-desert]. Moscow. 127 p. (In Russian)
9. *Senkevich N.G., Olovyannikova I.N.* 1996. [Introduction of arboreal plants in semi-deserts of the Northern Caspian Region]. Moscow. 180 p. (In Russian)
10. *The Plant list*. Version 1.1. September 2013. WFO (2023): The World Flora Online. https://www.worldfloraonline.org/
11. *Semenyutina A.V., Tereshkin A.V.* 2016. Protective sfforestation: Analysis of the composition and the scientific basis of increasing biodiversity dendroflora. – Advances in Current Natural Sciences. 4: 99–104. https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=35870 (In Russian)
12. *Semenyutina A.V., Dolgih A.A., Panov V.I., Zelenyak A.K.* 2016. Introduction as a way of increasing biodiversity and enrichment of dendroflora in arid areas. – Environment and Human: Ecological Studies. 3: 47–54. http://soc-ecol.ru/introduction-as-a-way-of-increasing-biodiversity-and-enrichment-of-dendroflora-in-arid-areas/ (In Russian)
13. *Yatsenko I.O., Vinogradova Yu.K.* 2018. Invasive activity of woody plants in the Tsytsyn Botanical Garden of the RAS. – Russian Journal of Biological Invasions. 4: 117–131. http://www.sevin.ru/invasjour/issues/2018_4/Yatsenko_18_4.pdf (In Russian)
14. *Sizemskaya M.L., Kopyl I.V., Sapanov M.K.* 1995. Colonization of artificial mesorelief lowlands by wood and shrub vegetation in a semi-desert of the Caspian Sea Region. – Russian Journal of Forest Science (Lesovedenie). 1: 15–23. https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21267005 (In Russian)
15. *Sizemskaya M.L., Elekesheva M.M., Sapanov M.K.* 2020. Formation of forest biogeocenoses on disturbed lands of the Northern Caspian Region. – Povolzhskiy J. of Ecology. 1: 86–98. https://doi.org/10.35885/1684-7318-2020-1-86-98 (In Russian)
16. *Berezutsky M.A., Zavyalov E.V., Mosolova E. Yu., Tabachishin V.G., Yakushev N.N.* 2008. [On the naturalization and some biotic relationships of oleaster (*Elaeagnus oxycarpa* Schlecht.) in the Saratov region. – Bulletin of Botanic Garden of Saratov State University. 7: 52–59. https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28781130 (In Russian)
17. *Zhang X., Li G., Du S.* 2018. Simulating the potential distribution of *Elaeagnus angustifolia* L. cased on climatic constraints in China. – Ecol. Eng. 113: 27–34. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.01.009
18. *Sapanov M.K., Sizemskaya M.L.* 2021. Ecological features of the ash-leaved maple regrowth in Russia's arid regions. – Russian Journal of Forest Science (Lesovedenie). 3: 325–334. https://doi.org/10.31857/S0024114821030098 (In Russian)
19. *Sapanov M.K.* 2003. [Ecology of forest plantations in arid regions]. Tula. 248 p. (In Russian)
20. *Sapanov M.K.* 2010. Influence of climate change on the water resources of Northern Pricaspian Lowland. – Arid Ecosystems. 16(5): 25–30. https://www.elibrary.ru/item.asp?id=15487267 (In Russian)
21. *Sapanov M.K.* 2018. Environmental Implications of Climate Warming for the Northern Caspian Region. – Arid Ecosystems. 8(1): 13–21. https://doi.org/10.1134/S2079096118010092
22. *Vinogradova Yu.K., Mayorov S.R., Khorun L.V.* 2010. [The Black Book of flora of Central Russia: alien plant species in ecosystems of Central Russia]. Moscow. 503 p. https://www.rfbr.ru/rffi/ru/books/o_26717 (In Russian)
23. *Nentwig W., Bacher S., Kumschick S., Pyšek P., Vilà M.* 2018. More than "100 worst" alien species in Europe. – Biol. Invasions. 20(6): 1611–1621. https://doi.org/10.1007/s10530-017-1651-6
24. *van Kleunen M., Dawson W., Essl F., Pergl J., Winter M., Weber E., et al.* 2015. Global exchange and accumulation of non-native plants. – Nature. 525(7567): 100–103. https://doi.org/10.1038/nature14910

РАСТИТЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ, 2024, том 60, вып. 1, с. 94–103

КОМПОНЕНТНЫЙ СОСТАВ РЕСУРСНЫХ ВИДОВ

УДК 582.477, 615.28, 661.74

ХАРАКТЕРИСТИКА БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ СОЕДИНЕНИЙ КОРЫ *JUNIPERUS COMMUNIS* (CUPRESSACEAE)

© 2024 г. Н. В. Селиванова*, М. А. Пустынная, М. А. Гусакова, К. Г. Боголицын

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики УрО РАН, г. Архангельск, Россия

**e-mail: snatalia-arh@yandex.ru*

Поступила в редакцию 04.05.2023 г.
После доработки 02.06.2023 г.
Принята к публикации 07.06.2023 г.

В работе представлены результаты исследования компонентного состава коры *Juniperus communis* L. (Cupressaceae). Показано, что по сравнению с древесиной кора содержит в 3.5 раза больше экстрактивных веществ. Методом хромато-масс-спектрометрии получены сведения об индивидуальном компонентном составе спиртового и петролейного экстрактов коры *J. communis*. Выявлены различия в компонентном составе спиртового и петролейного экстрактов коры. Основную часть компонентов спиртового экстракта составляют моносахариды, дисахариды и смоляные кислоты; петролейного экстракта – смоляные и жирные кислоты, стерины. Установлено, что спиртовой экстракт коры *J. communis* обладает высокой антирадикальной активностью. Степень ингибирования радикала ABTS для спиртового экстракта коры составила 86–87%. На основании проведенных исследований можно заключить, что кора *J. communis* субарктического региона является источником ценных биологически активных веществ.

Ключевые слова: Juniperus communis, кора, экстрактивные вещества, биологически активные вещества, антирадикальная активность

DOI: 10.31857/S0033994624010064, **EDN:** HBCAJU

Растущая потребность в лекарственных и биологически активных препаратах свидетельствует о необходимости поиска новых источников сырья или более подробном изучении ранее известных. Флора Северо-Западного региона России имеет свои характерные особенности по составу и разнообразию, что представляет интерес для получения ценных продуктов, обладающих высокой антирадикальной и антибактериальной активностью. Одним из растений, которое уже на протяжении долгого времени привлекает внимание исследователей, является можжевельник обыкновенный *Juniperus communis* L. (Cupressaceae). Известно, что компоненты растительной ткани растений, произрастающих в экстремальных условиях, могут обладать особыми физикохимическими и биологическими свойствами.

Результаты изучения фармацевтического рынка фитопрепаратов свидетельствуют о присутствии лекарственных средств из можжевельника. Согласно литературным данным, активному изучению подвергались древесная зелень, древесина и шишкоягоды можжевельника обыкновенного [1–6], в то время как работы по изучению свойств коры отсутствуют. Разнообразный компонентный состав, широкий спектр фармакологических свойств, широкий ареал произрастания можжевельника свидетельствуют об актуальности продолжения таких исследований.

При переработке древесины образуются отходы окорки, которые пока не имеют рационального применения. Вследствие этого основные направления переработки коры все еще ограничены ее утилизацией как органического материала в качестве топлива, в сельском хозяйстве и т.п. Редкие примеры использования коры отдельных древесных пород для выделения дубильных веществ, производства пробки, получения дегтя (из бересты березы) и выделения из коры растущих деревьев пихты пихтового бальзама не улучшают, к сожалению, общую картину неэффективного использования содержащихся в коре ценных органических соединений. Обла-

дая уникальным компонентным составом, кора может быть использована в качестве сырья для получения широкого спектра продуктов, поэтому для разработки технологий более квалифицированного использования названных отходов необходимы сведения о составе древесной коры.

Особенности компонентного состава древесины и древесной зелени можжевельника обыкновенного рассмотрены нами ранее [3, 4, 6]. Цель данного исследования – изучение особенностей компонентного состава коры *Juniperus communis*, произрастающего на территории Архангельской обл.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Отбор проб коры *Juniperus communis* проводили с растущих экземпляров на высоте 1 м в 2021–2022 гг. в Приморском р-не Архангельской обл. (на ранее выбранных тестовых площадках) [3, 4]. Каждый образец содержал усредненную пробу с 5 здоровых (без признаков ослабления) особей можжевельника разного диаметра.

Образцы коры высушивали на воздухе, измельчали на лабораторной мельнице ЛМ 201 с водяным охлаждением, усредняли (размер фракции, взятой на исследование составил 1–2 мм) и определяли влажность. Схема анализа образцов коры *J. communis* приведена на рис. 1.

Компонентный состав коры определяли по общепринятым в химии древесины методикам [7]. Определение содержания целлюлозы осуществляли удалением нецеллюлозных компонентов азотно-спиртовой смесью, лигнина – методом Класона в модификации Комарова по данным четырех параллельных определений. Дубильные вещества определяли по методу Левенталя в модификации Л.А. Курсанова. Метод предусматривает определение суммарного содержания всех фенольных соединений, но использование пересчетного коэффициента Нейбауэра позволяет установить содержание дубильных веществ [8].

Выделение экстрактивных веществ осуществляли методом дефлегмации в аппарате Сокслета (экстрагенты: 96%-й этиловый спирт, изопропиловый спирт, гексан и петролейный эфир) при постоянном кипении в течение 5 ч. Определение в полученных экстрактах сухого остатка проводили по ГФ XI ОФС “Экстракты” [9].

Эфирное масло из коры можжевельника выделяли по методу Клевенджера, который основан на гидродистилляции эфирного масла из сырья в градуированный приемник [9]. Содержание эфирного масла (%) в абсолютно сухом сырье вычисляли по формуле:

$$\omega = \frac{0.95 \times V}{m_c} \times 100\%,$$

где V – объем эфирного масла, см^3; 0.95 – плотность эфирного масла, г/см^3; m_c – масса сухого сырья, г.

Идентификацию индивидуальных соединений спиртового и петролейного экстрактов коры проводили методом хромато-масс-спектрометрии с использованием газового хромато-масс-спектрометра GC-MS QP-2010 Ultra (Shimadzu, Япония). При подготовке проб к хромато-масс-спектрометрическому анализу предварительно проводили их дериватизацию силилирующим агентом BSTFA. Условия хроматографического анализа: колонка Rxi-5 Sil MS (длина колонки 30 м, внутренний диаметр 0.25 мм), изотермический режим при 50°C в течение трех минут, затем программированный подъем температуры со скоростью 10°C/мин до 320°C с выдержкой при конечной температуре 20 мин. Температура испарителя 230°C, температура ионизационной камеры 230°C, энергия ионизации 70 эВ. Идентификацию соединений осуществляли по библиотекам массспектров NIST 2011 и Wiley 2010 со степенью достоверности выше 80%.

Для определения антирадикальной активности (АРА) использовали метод на основе реакции компонентов водно-спиртового экстракта со стабильным предварительно генерированным радикальным катионом 2.2'-азино-бис-(3-этилбензотиазолин-6-сульфоновой кислоты) (ABTS) [10]. Оптическую плотность определяли на сканирующем спектрофотометре UV-1800 (Shimadzu, Япония) при длине волны 734 нм. Реакцию проводили в кварцевых кюветах с плотно закрывающимися крышками при комнатной температуре путем приливания к раствору катион-радикала ABTS рабочего раствора. В качестве контрольного образца использовали раствор ABTS, в качестве раствора сравнения – цитратный буферный раствор, содержащий этанол.

Антирадикальную активность (% ингибирования ABTS) вычисляли по формуле:

$$\%\ \text{ингибирования} = \frac{D_{\text{контр}} - D_x}{D_{\text{контр}}} \times 100\%,$$

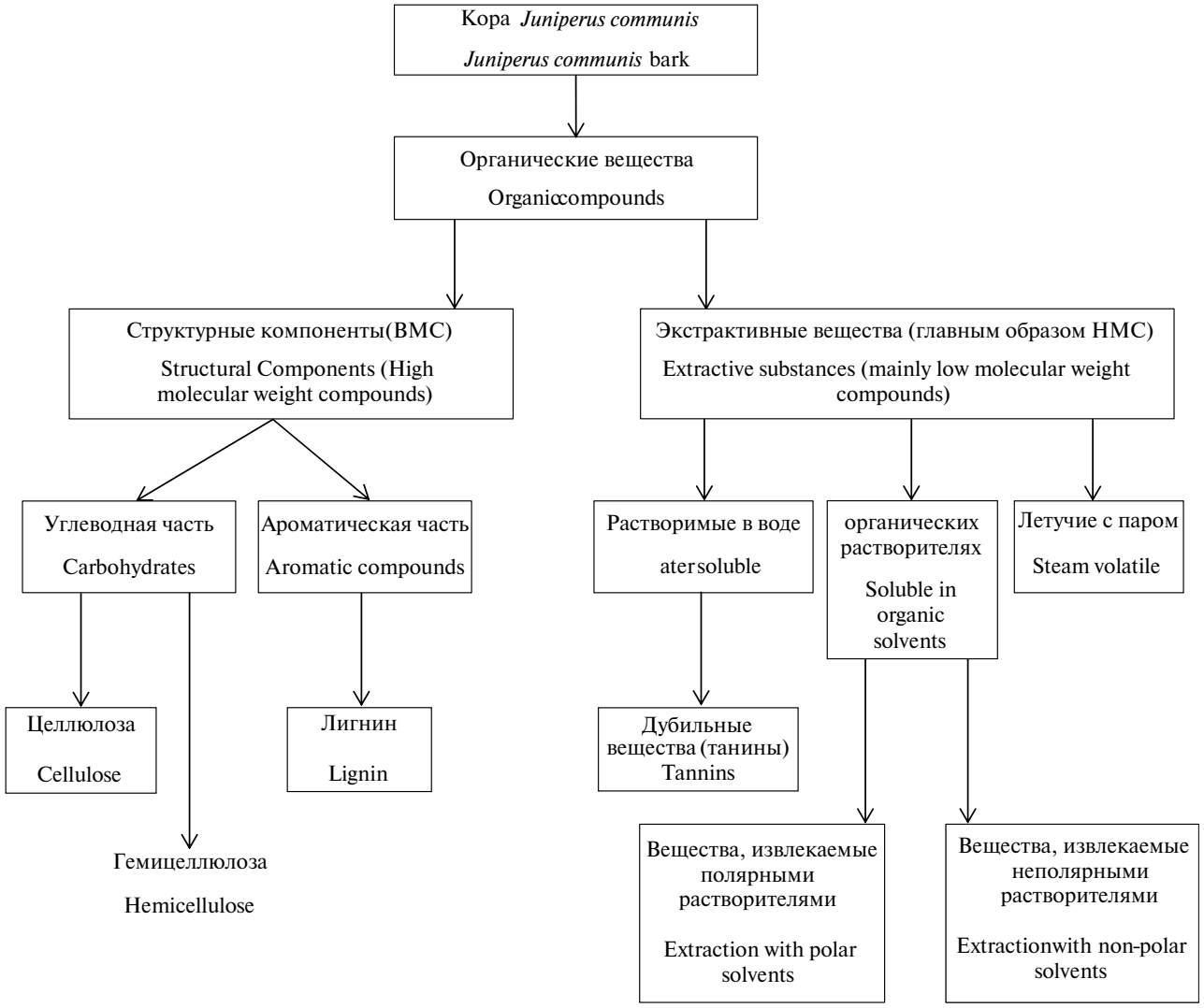


Рис. 1. Схема анализа коры *Juniperus communis*.
Fig. 1. Scheme of *Juniperus communis* bark analysis.

где D_x – оптическая плотность исследуемого раствора, $D_{контр}$ – оптическая плотность контрольного раствора.

Каждое определение проводили трижды, причем различия в полученных значениях АРА составляли не более 0.5% от определяемой величины.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате изучения компонентного состава коры *Juniperus communis* обнаружено, что он представляет собой комплекс соединений, основную долю которых составляют целлюлоза, лигнин и широкий спектр экстрактивных веществ (табл. 1). Следует отметить, что компонентный состав коры *J. communis* заметно отличается от состава древесины. Это отличие обусловлено разным анатомическим строением и разной ролью в жизнедеятельности особи коры и древесины.

Количество целлюлозы в коре *J. communis* колеблется от 29.4 до 33.3%, гемицеллюлоз от 2.6–2.7%, что значительно меньше, чем в древесине. С другой стороны, кора можжевельника содержит большее количество лигнина – до 36.6% по сравнению с древесиной (29.8%), что соответствует данным, представленным в литературе [3, 13].

Характерной особенностью компонентного состава коры является высокое содержание

Таблица 1. Компонентный состав коры можжевельника обыкновенного, произрастающего на территории Архангельской области
Table 1. The component composition of *Juniperus communis* bark from the Arkhangelsk region

Показатель Index	Значение Value		
	Кора Bark	Древесина [3, 6] Wood	Древесная зелень [4] Young shoots
Целлюлоза, % Cellulose, %	29.4–33.3	36.4–47.0	0.19–0.20
Лигнин Класона, % Klason Lignin, %	29.5–36.6	28.6–31.5	32.9–33.3
Гемицеллюлозы, % Hemicelluloses, %	2.6–2.7	7.0–6.1	–
Экстрактивные вещества, % Extractive substances, %			
– экстрагируемые горячей водой extracted with hot water	8.9–12.0	2.14	14.5–32.3
– экстрагируемые этанолом extracted with ethanol	9.0–14.3	3.88	14.4–25.7
– экстрагируемые паром (эфирное масло) extracted by steam (essential oil)	0.5–0.7	0.12 [11]	2.7–4.7
– дубильные вещества tannins	13.7–14.1	–	2.0–7.6 [12]

экстрактивных веществ (до 15%) и наличие биологически активных веществ. Среди экстрактивных веществ коры особого внимания заслуживают фенольные и смолистые компоненты. Содержание фенольных веществ зависит от физиологической активности, интенсивности ростовых процессов [14], а также от физико-химических особенностей коры. Большая часть фенольных соединений коры, включая конденсированные дубильные вещества, являются водорастворимыми, их содержание, например, в коре сосны составляет 9–11% [15], лиственницы – 9–13% [16]. Как показывают полученные результаты, содержание дубильных веществ в коре можжевельника обыкновенного составляет 13.9%. С одной стороны, это свидетельствует о большей интенсивности окислительных процессов, происходящих в коре. С другой стороны, повышенное содержание дубильных веществ в коре можжевельника позволяет рассматривать ее как сырье для практического применения в качестве ингибиторов растений.

Экстрактивные вещества, содержащиеся в большом количестве в коре, представляют особый интерес. В ряде случаев комплекс биологически активных соединений в составе экстракта оказывает более разностороннее действие, чем отдельные его компоненты. Какие действующие и сопутствующие вещества перейдут в экстракт при извлечении, зависит от метода экстракции и применяемого растворителя. Поэтому для оценки содержания биологически активных веществ в коре можжевельника определяли содержание экстрактивных веществ, извлекаемых паром и растворителями различной степени полярности. При экстракции полярными растворителями (этиловый спирт, изопропиловый спирт, вода) из коры преимущественно извлекаются флавоноиды, фенольные соединения. Неполярными растворителями (петролейный эфир, бензин, гексан) извлекается большая группа веществ, обладающих биологической активностью и имеющих практическое применение. Эти вещества представлены смоляными, жирными и нейтральными соединениями (алканы, сложные эфиры, жирные спирты и стерины).

Сравнительный анализ данных, полученных различными методами экстракции, показал, что выход эфирного масла из коры составляет 0.6%, что в 3–4 раза меньше, чем из древесной зелени можжевельника (табл. 1). Наибольшее количество смолистых веществ из коры можжевельника

извлекается этиловым и изопропиловым спиртами – 14.3 и 13.4% соответственно, тогда как петролейным эфиром и гексаном извлекается соответственно 4.0 и 4.2%.

Для идентификации и количественного определения содержания индивидуальных компонентов в полученных спиртовом и петролейном экстрактах применяли метод хромато-масс-спектрометрии. На рис. 2 и 3 приведены хроматограммы спиртового и петролейного экстрактов. В табл. 2 и 3 указано содержание основных компонентов спиртового и петролейного экстрактов коры, идентифицированных с достаточно высокой степенью вероятности, относительное содержание которых выше 1%.

Анализ данных, приведенных в табл. 2 и 3, показал, что изученный компонентный состав спиртового и петролейного экстрактов отличается не только в качественном, но и в количественном отношении. В спиртовом экстракте коры можжевельника было обнаружено 43 компонента, из них идентифицировано 33 компонента. В петролейном экстракте был обнаружен 41 компонент, из которых идентифицировано 23 компонента. В петролейном экстракте, например, на долю смоляных кислот приходится более 62% от общего содержания веществ, а в спиртовом экстракте – чуть больше 18%. Кроме того, в составе спиртового экстракта присутствуют сахара, которые отсутствуют в составе петролейного экстракта.

Согласно литературным данным, выделенный комплекс экстрактивных веществ спиртового экстракта обладает выраженной антиоксидантной активностью. Так, пинитол, обнаруженный в спиртовом экстракте, подавляет процессы образования свободных радикалов и перекисное окисление липидов; катехины – органические вещества из группы флавоноидов, являются сильными антиоксидантами [17–19]. Это подтверждают и полученные нами экспериментальные данные по антирадикальной активности (АРА), которая является оценкой биохимической активности экстрактов. Степень ингибирования радикала ABTS для спиртового экстракта коры составила 85.8–86.6%, что почти в 2 раза выше, чем для спиртового экстракта хвои можжевельника (46.8–48.0% ингибирования).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, исследования компонентного состава коры можжевельника обыкновенного *Juniperus communis* L. (Cupressaceae), произрастающего на территории Архангельской обл., показали, что он значительно отличается от

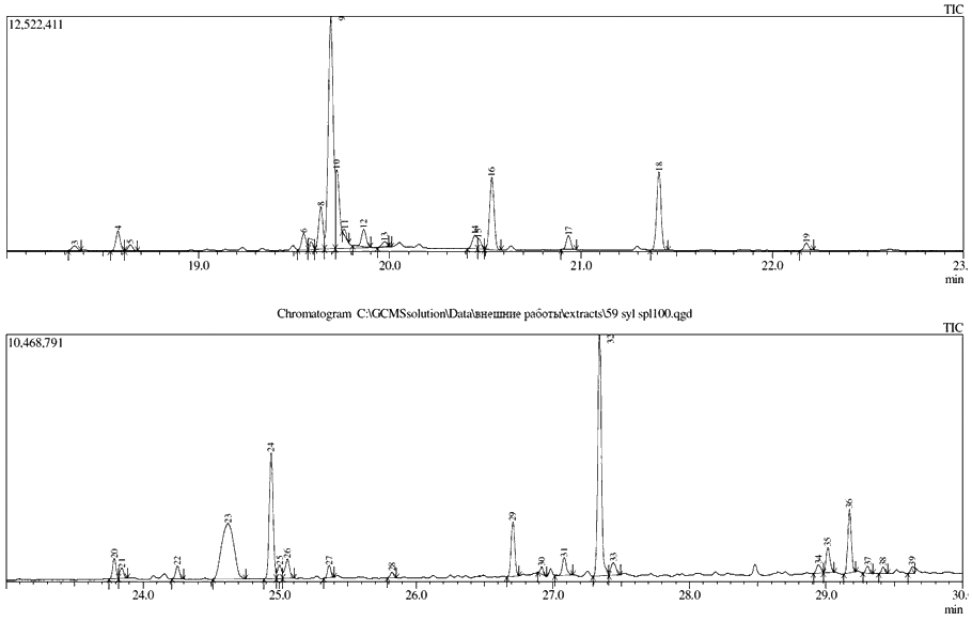


Рис. 2. Хроматограмма спиртового экстракта коры *Juniperus communis.*
Fig. 2. Chromatogram of the *Juniperus communis* bark alcohol extract.

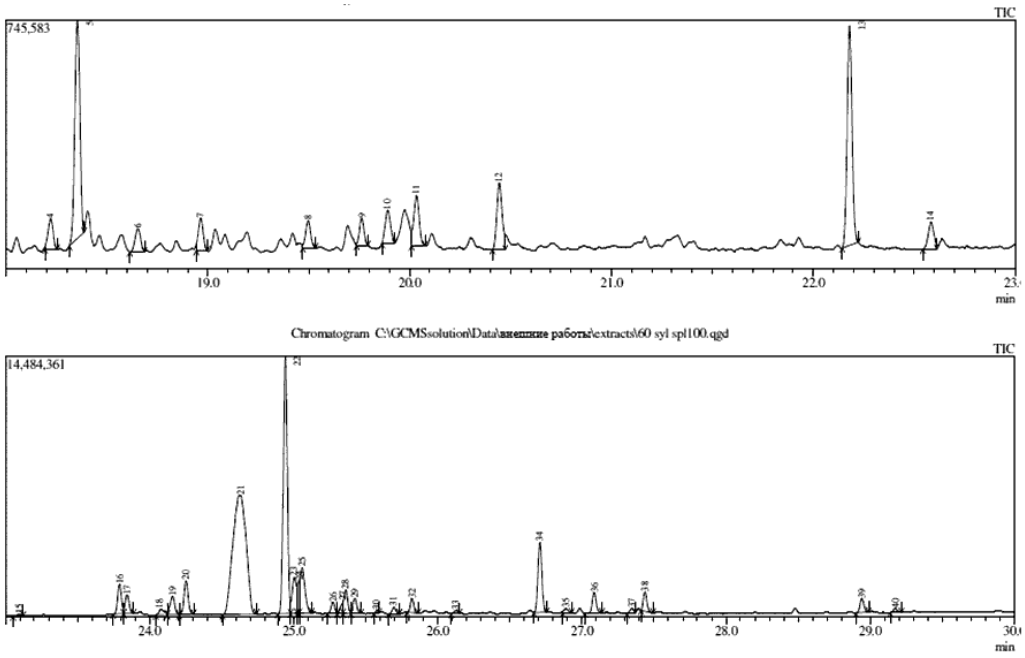


Рис. 3. Хроматограмма петролейного экстракта коры *Juniperus communis.*
Fig. 3. Chromatogram of the *Juniperus communis* bark petroleum extract.

Таблица 2. Основные компоненты летучей части спиртового экстракта коры *Juniperus communis*
Table 2. Major volatile compounds of *Juniperus communis* bark alcoholic extract

Наименование компонента Identified compound	Время удерживания, мин* Retention time, min	Относительное содержание, % Relative content, %
Пинитол Pinitol	19.963	16.59
Сахароза Sucrose	27.342	14.41
Пимаровая кислота Pimaric acid	24.624	10.87
Изомер пимаровой кислоты Isomer of pimaric acid	24.939	7.70
Тагатопираноза Tagatopyranose	19.724	7.32
Глюкопираноза Glucopyranose	21.408	5.06
Изомер глюкопиранозы β-D-glucopyranose	20.535	4.62
Катехин Catechin	29.172	3.56
Фруктофураноза Fructofuranose	19.641	2.58
Изомер сахарозы α-D-glucopyranose	33.260	1.91
Катехин Catechin	29.013	1.55

* – Время удерживания, мин соответствует времени удерживания ТМС-производных перечисленных соединений.
* – Retention time corresponds to the retention time of TMS derivatives of the listed compounds.

Таблица 3. Основные компоненты летучей части петролейного экстракта коры *Juniperus communis*
Table 3. Major volatile compounds of *Juniperus communis* bark petroleum extract

Наименование компонента Identified compound	Время удерживания, мин* Retention time, min*	Относительное содержание, % Relative content, %
Пимаровая кислота Pimaric acid	24.632	33.03
Изомер пимаровой кислоты Isomer of pimaric acid	24.943	21.70
Стигмастерол Stigmasterol	33.228	4.09
Изомер пимаровой кислоты Isomer of pimaric acid	25.005	3.19
Изомер пимаровой кислоты Isomer of pimaric acid	24.254	2.93
Линолевая кислота Linoleic acid	23.792	2.40
5,8,11 – Эйкозатриеновая кислота 5,8,11 – Eicosatrienoic acid	25.363	1.86
Изомер пимаровой кислоты Isomer of pimaric acid	27.085	1.67
Олеиновая кислота Oleic acid	23.844	1.53

* – Время удерживания, мин соответствует времени удерживания ТМС-производных перечисленных соединений.
* – Retention time corresponds to the retention time of TMS derivatives of the listed compounds.

состава древесины этого вида. По сравнению с древесиной кора *J. communis* содержит в 3.5 раза больше экстрактивных веществ. Методом хромато-масс-спектрометрии было выявлено, что основную часть компонентов спиртового экстракта составляют моносахариды, дисахариды и смоляные кислоты; петролейного экстракта – смоляные и жирные кислоты, стерины. Установлено, что выделенный комплекс экстрактивных веществ спиртового экстракта обладает выраженной антирадикальной активностью. На основании проведенных исследований можно заключить, что кора можжевельника обыкновенного является важным источником биологически активных веществ.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследования проведены в рамках государственного задания ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН 2022–2024 гг. “Физико-химические основы селективных методов выделения, характеристики и применение биологически активных комплексов растительных объектов высоких широт для решения задач экологического контроля и здоровьесбережения” (№ 122011700252-1) с использованием оборудования ЦКП КТ РФ-Арктика (ФИЦКИА УрО РАН).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Герлинг Н.В., Пунегов В.В., Груздев И.В.* 2016. Компонентный состав эфирного масла можжевельника обыкновенного (*Juniperus communis* L.) под пологом елового древостоя на Европейском Северо-Востоке России. – Химия растит. сырья. 2: 89–96.
https://doi.org/10.14258/jcprm.2016021028

2. *Корниенко И.В., Новиков О.О., Писарев Д.И., Малютина А.Ю.* 2015. Сравнительный химический анализ эфирного масла шишкоягод *Juniperus communis* L. из разных регионов Российской Федерации. – Научный результат. Серия Медицина и фармация. 3: 80–88.
https://doi.org/10.18413/2313-8955-2015-1-3-80-88

3. *Зубов И.Н., Хвиюзов С.С., Лобанова М.А., Боголицын К.Г., Гусакова М.А.* 2012. Влияние абиотических факторов на формирование лигноуглеводной матрицы древесины можжевельника. – Известия вузов. Лесн. журн. 1: 113–120.
http://lesnoizhurnal.ru/issuesarchive/? ELEMENT_ID=34579

4. *Самсонова Н.А., Гусакова М.А., Боголицын К.Г., Селиванова Н.В.* 2020. Компонентный состав и антибактериальная активность эфирного масла древесной зелени *Juniperus communis* L. Субарктической зоны России. – Сибирский лесн. журн. 2: 31–39.
https://doi.org/10.15372/SJFS20200204

5. *Нарчуганов А.Н., Ефремов А.А., Оффан К.Б.* 2010. Экстрактивные вещества лапки хвойных Эвенкии, извлекаемые при спиртовой обработке с использованием ультразвука. – Химия растит. сырья. 1:105–108.
https://elibrary.ru/item.asp?id=13859323

6. *Bogolitsyn K., Krasikova A., Gusakova M., Ivakhov A., Gravitis J.* 2019. Selective extraction of terpenoid compounds of *Juniperus communis* L. wood in the medium of a binary solvent (supercritical CO_2 with modifier). – Phytochem. Anal. 30(6): 609–616.
https://doi.org/10.1002/pca.2833

7. *Оболенская А.В., Ельницкая З.П., Леонович А.А.* 1991. Лабораторные работы по химии древесины и целлюлозы: Учебное пособие для вузов. М. 320 с.

8. *Азовцев Г.Р.* 1973. Изучение фенольных веществ Западно-Сибирских представителей рода *Sanguisorba* L.: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Новосибирск. 28 с.

9. *Государственная* Фармакопея СССР, XI изд.: в 2 вып. 1987. М. Вып. 1. 336 с. 1990. Вып. 2. 400 с.

10. *Одарюк В.В., Одарюк И.Д., Каниболоцкая Л.В., Шендрик А.Н.* 2014. Антирадикальная способность фенольных антиоксидантов по отношению к катион-радикалу 2,2'-азино-бис(3-этилбензтиазолин-6-сульфоновой кислоты). – Вестник Донецкого нац. университета. Сер. А: Природные науки. 2: 121–125.
http://donnu.ru/public/journals/vestnikA/archive/files/Вестник%20ДонНУ_Серия%20A_2014_2.pdf

11. *Marongiu B., Porcedda S., Piras A., Sanna G., Murreddu M., Loddo R.* 2006. Extraction of *Juniperus communis* L ssp. nana Wild. essential oil by supercritical carbon dioxide. – Flavour Fragr. J. 21(1): 148–154.
https://doi.org/10.1002/ffj.1549

12. *Никитина Ю.О., Сарбаева Е.В.* 2017. Содержание дубильных веществ в хвое и шишкоягодах можжевельника обыкновенного (*Juniperus communis* L.). – В сб.: Современные проблемы медицины и естест. наук: Сборник статей Всероссийской научной конференции. Йошкар-Ола. С. 219–222.
https://elibrary.ru/item.asp?id=29180501

13. *Никитин Н.И.*1978. Химия древесины и целлюлозы: Учебное пособие. Л. 711с.

14. *Высочина Г.И.* 2004. Фенольные соединения в систематике и филогении семейства гречишных. Новосибирск. 240 с.

15. *Дейнеко И.П., Дейнеко И.В., Белов Л.П.* 2007. Исследование химического состава коры сосны. – Химия растит. сырья. 1: 19–24.
https://elibrary.ru/item.asp?id=9482860

16. *Эрнст Л.К., Науменко З.М., Ладинская С.И.* 2010. Кормовые ресурсы леса. М. 369 с.

17. *Dewangan P., Verma A., Kesharwani D.* 2014. Isolation of D-pinitol: A bioactive carbohydrate from the leaves of *Bauhinia variegata* L. – Int. J. Pharm. Sci. Rev. Res. 24(1). 43–45.
https://globalresearchonline.net/journalcontents/v24–1/08.pdf

18. *Альмагамбетов А.М., Темиргазиев Б.С., Заварзин И.В., Качала В.В., Кудабаева П.К., Тулеуов Б.И., Адекенов С.М.* 2016. Новый перспективный растительный источник D-пинитола, обладающего антидиабетическими и гипогликемическими свойствами. – Химия растит. сырья. 3: 79–84.
https://doi.org/10.14258/jcprm.2016031004

19. *Меньщикова Е.В., Ланкин В.З., Кандалинцева Н.В.* 2012. Фенольные биоантиоксиданты в биологии и медицине. Структура, свойства, механизмы действия. Saarbrucken. 495 с.

Bioactive Compounds From The Bark Of *Juniperus Communis* (Cupressaceae)

N. V. Selivanova*, M. A. Pustynnaya, M. A. Gusakova, K. G. Bogolitsyn

Federal Research Center for Comprehensive Study of the Arctic Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Arkhangelsk, Russia

**e-mail: snatalia-arh@yandex.ru*

Abstract – The paper presents the results of the study of *Juniperus communis* L. (Cupressaceae) bark composition. It is shown that the juniper's bark contains 3.5 times more extractives than its wood. Individual component composition of ethanol and petroleum extracts of *J. communis* bark was confirmed using gas chromatography – mass spectrometry. Difference in the component composition of ethanol and petroleum bark extracts was determined. The major constituents of *J. communis* ethanol extract are monosaccharides, disaccharides and resin acids; of petroleum extract – resin and fatty acids, and sterols. It has been established, that ethanol extract of *J. communis* bark exhibit high antioxidant activity. The ABTS radical inhibition activity of the bark alcoholic extract reached 86–87%. Based on the conducted research, it can be concluded that in the subarctic region the bark of *J. communis* is a source of valuable bioactive substances.

Keywords: *Juniperus communis*, bark, extractives, biologically active substances, antioxidant activity

ACKNOWLEDGMENTS

The research was carried out within the framework of the state assignment of N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research (FECIAR) of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences for 2022–2024. "Physics and chemistry of selective methods for isolating, characterizing and using biologically active complexes of plant objects of high latitudes to solve problems of environmental control and health protection" (No. 122011700252-1) using the the instrumentation of the Core Facility Center "Arktika" of N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research.

REFERENCES

1. *Gerling N.V., Punegov V.V., Gruzdev I.V.* 2016. Component composition of essential oil of common juniper (*Juniperus communis* L.) under the canopy of spruce forests in the European North-East Russia). – Khimija Rastitel'nogo Syr'ja. 2: 89–96. https://doi.org/10.14258/jcprm.2016021028 (In Russian)
2. *Kornienko I.V., Novikov O.O., Pisarev D.I., Malyutina A. Yu.* 2015. Comparative analysis of the essential oil chemical composition of *Juniperus communis* L. cone from different regions of the Russian Federation. – Research Result. Ser. Medicine and Pharmacy. 3: 80–88. https://doi.org/10.18413/2313-8955-2015-1-3-80-88 (In Russian)
3. *Zubov I.N., Khviyuzov S.S., Lobanova M.A., Gusakova M.A., Bogolitsyn K.G.,* 2012. Influence of abiotic factors on the juniper wood lignocarbohydrate matrix formation. – Lesnoy Zhurnal (Russian Forestry Journal). 1: 113–120. http://lesnoizhurnal.ru/en/archive/article_index_years.php? ELEMENT_ID=165021 (In Russian)
4. *Samsonova N.A., Gusakova M.A., Bogolitsyn K.G., Selivanova N.V.* 2020. Componential composition and antibacterial activity of essential oil of wood greenery of *Juniperus communis* L. in the Subarctic region of Russia. – Siberian Journal of Forest Science. 2: 31–39. https://doi.org/10.15372/SJFS20200204 (In Russian)
5. *Narchuganov A.N., Yefremov A.A., Offan K.B.* 2010. Extractive substances of the conifers' green shoots form Evenkia extracted by ultrasonic-assisted alcohol treatment. – Khimija Rastitel'nogo Syr'ja. 1: 105–108. https://elibrary.ru/item.asp?id=13859323 (In Russian)
6. *Bogolitsyn K., Krasikova A., Gusakova M., Ivakhov A., Gravitis J.* 2019. Selective extraction of terpenoid compounds of *Juniperus communis* L. wood in the medium of a binary solvent (supercritical CO_2 with modifier). – Phytochem. Anal. 30(6): 609–616. https://doi.org/10.1002/pca.2833
7. *Obolenskaya A.V., Yel'nitskaya Z.P., Leonovich A.A.* 1991. [Laboratory sessions on the chemistry of wood and pulp: A manual for universities]. Moscow. 320 p. (In Russian)
8. *Azovtsev G.R.*1973. [The study of phenolic substances of the West-Siberian representatives of the *Sanguisorba* L. genus.: Abstr. ... Dis. Cand. (Biology) Sci.]. Novosibirsk. 28 p. (In Russian)

9. [*State* Pharmacopoeia of the USSR, XI edition: in 2 volumes]. Moscow. 1987. Vol. 1. 336 p. 1990. Vol 2. 400 p. (In Russian)

10. *Odaryuk V.V., Odaryuk I.D., Kanibolotska L.V., Shendrik A.N.* 2014. Antiradical ability of phenolic antioxidants with in reaction with 2,2'-azino-bis(3-ethylbenzthiazoline-6-sulfonic acid) radical action. – Bulletin of Donetsk National University. Ser. A: Natural Science. 2: 121–125.
http://donnu.ru/public/journals/vestnikA/archive/files/Вестник%20ДонНУ_Серия%20A_2014_2.pdf (In Russian)

11. *Marongiu B., Porcedda S., Piras A., Sanna G., Murreddu M., Loddo R.* 2006. Extraction of *Juniperus communis* L. subsp. *nana* Wild. essential oil by supercritical carbon dioxide. – Flavour Fragr. J. 21(1): 148–154.
https://doi.org/10.1002/ffj.1549

12. *Nikitina Y.O., Sarbayeva E.V.* 2017. [The content of tannins in needles and pine cones of the common juniper (*Juniperus communis* L.)]. – In: [Modern problems of medicine and nature. Proc. of the Russian scientific conference]. Yoshkar-Ola. P. 219–222.
https://elibrary.ru/item.asp?id=29180501 (In Russian)

13. *Nikitin N.I.* 1978. [Chemistry of Wood and Cellulose: Textbook]. Leningrad. 711 p. (In Russian)

14. *Vysochina G.I.* 2004. [Phenolic compounds in the taxonomy and phylogeny of the buckwheat family]. Novosibirsk. 240 p. (In Russian)

15. *Deineko I.P., Deineko I.V., Belov L.P.* 2007. [Investigation of the chemical composition of pine bark]. – Khimija Rastitel'nogo Syr'ja. 1: 19–24.
https://elibrary.ru/item.asp?id=9482860 (In Russian)

16. *Ernst L.K., Naumenko Z.M., Ladinskaya S.I.* 2010. [Fodder resources of the forest]. Moscow. 369 p. (In Russian)

17. *Dewangan P., Verma A., Kesharwani D.* 2014. Isolation of D-pinitol: A bioactive carbohydrate from the leaves of *Bauhinia variegata* L. – Int. J. Pharm. Sci. Rev. Res. 24(1): 43–45.
https://globalresearchonline.net/journalcontents/v24–1/08.pdf

18. *Almagambetov A.M., Temirgaliev B.S., Zavarzin I.V., Kachala V.V., Kudabaeva P.K., Tuleuov B.I., Adekenov S.M.* 2016. New prospective herbal source of D-pinitol, posessing anti-diabetic and hypoglycemic properties. – Khimija Rastitel'nogo Syr'ja. 3: 79–84.
https://doi.org/10.14258/jcprm.2016031004 (In Russian)

19. *Menshchikova E.B., Lankin V.Z., Kandalintseva N.V.* 2012. Phenolic antioxidants in biology and medicine. Structure, properties, mechanisms of action. Saarbrucken. 495 p. (In Russian)

РАСТИТЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ, 2024, том 60, вып. 1, с. 104–111

КОМПОНЕНТНЫЙ СОСТАВ РЕСУРСНЫХ ВИДОВ

УДК 581.19; 58.009; 582.61

КОМПОНЕНТНЫЙ СОСТАВ НАДЗЕМНЫХ ЧАСТЕЙ ВИДОВ РОДА *CENTAUREA* (ASTERACEAE), ПРОИЗРАСТАЮЩИХ В СИБИРИ И СРЕДНЕЙ АЗИИ

© 2024 г. Е. А. Кастерова[1, *], А. С. Ревушкин[2], А. Л. Эбель[2, 3]

[1]ФГБОУ ВО Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, г. Москва, Россия

[2]Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия

[3]Центральный сибирский ботанический сад СО РАН, г. Новосибирск, Россия

**e-mail: evgenia.kasterova@yandex.ru*

Поступила в редакцию 27.06.2023 г.
После доработки 26.07.2023 г.
Принята к публикации 07.08.2023 г.

С помощью метода высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) изучен компонентный состав надземных частей 6 видов рода *Centaurea* L. s.l. (*C. gontscharovii* Iljin, *C. modesti* Fed., *C. phyllopoda* Iljin, *C. ruthenica* Lam., *C. scabiosa* L., *C. sibirica* L.), произрастающих на территории Сибири и Средней Азии. Для *C. modesti*, *C. phyllopoda* и *C. gontscharovii* компонентный состав изучен впервые. Идентифицировано 24 фенольных соединения, 15 из которых являются флавоноидами, 9 – фенолокислотами. Во всех изученных видах идентифицирован этилгаллат. Для видов, произрастающих на территории Средней Азии, за исключением *C. gontscharovii*, характерно наличие авикулярина, байкалина и апигенина. Во всех видах, кроме *C. sibirica*, идентифицирована галловая кислота; для всех видов, кроме *C. modesti*, характерна хлорогеновая кислота. В экстрактах надземных частей *C. ruthenica* из Казахстана и *C. phyllopoda* обнаружены сирингин, салипурпозид, авикулярин, байкалин и апигенин. Дигидромирицитин идентифицирован у особей *C. ruthenica* только из Казахстана. Эриодиктиол и эллаговая кислота обнаружены только у *C. scabiosa*, а фумаровая и салициловая кислоты – только у *C. phyllopoda*. В изученных видах содержание фенольных соединений в пересчете на сухое сырье составило 0.6–6.7%.

Ключевые слова: Centaurea, флавоноиды, фенольные кислоты, ВЭЖХ, Сибирь, Средняя Азия

DOI: 10.31857/S0033994624010072, **EDN:** HAXLDJ

Род *Centaurea* L. s.l. (василек) включает около 550 видов и является одним из наиболее крупных родов семейства Asteraceae. Виды рода широко распространены в Европе, Азии, в Северной Америке, Африке, 1 вид – в Австралии [1, 2]. На территории Средней Азии встречаются 27 видов васильков, в Сибири – всего 14 видов [3–6]. Виды рода *Centaurea* произрастают на остепненных разнотравных лугах, на щебнистых и каменистых склонах, в зарослях кустарников, на лесных опушках, являясь неприхотливыми, они зачастую встречаются вдоль дорог, на залежах и сорных местах [4, 5].

По своей биологической активности наиболее важными идентифицированными соединениями, выделенными из растений рода *Centaurea*, являются флавоноиды, их многочисленные водорастворимые гликозиды, сесквитерпеновые лактоны, лигнаны и алкалоиды [7]. Благодаря своему компонентному составу, васильки активно используются в народной медицине при лечении заболеваний нервной системы, болезней печени, при диарее, экземе. В Средней Азии отвары васильков применяют как желчегонные средства при желтухе, они используются для полоскания горла, а также наружно при растяжении мышц и сухожилий. В эксперименте показаны антиоксидантная, антибактериальная, антивирусная, противоопухолевая, противовоспалительная, противоязвенная активность видов рода *Centaurea* [7].

Несмотря на широкое применение в народной медицине, сведения о составе вторичных метаболитов видов рода *Centaurea* являются непол-

ными. Согласно литературным данным, во всех изученных видах обнаружены фенольные соединения (флавоноиды, фенолокислоты) [7, 8]. В азиатских видах рода *Centaurea* изучены преимущественно сесквитерпеновые лактоны [9, 10].

Для 14 сибирских видов рода *Centaurea* в литературе имеются фрагментарные данные по компонентному составу только 6 видов. Так, в *C. sibirica* L. ранее было идентифицировано только одно соединение – кверцимеритрин, в *C. pseudomaculosa* Dobrocz. – сальвигенин и эупаторин [7, 8, 11, 12]. Для 4 видов (*C. cyanus* L., *C. jacea* L., *C. ruthenica* Lam., *C. scabiosa* L.) идентифицирован ряд общих фенольных соединений: хлорогеновая кислота, апигенин и гиспидулин. В *C. cyanus*, *C. ruthenica*, *C. scabiosa* идентифицированы кофейная и феруловая кислоты, лютеолин; в *C. cyanus* и *C. ruthenica* – неохлорогеновая кислота, кемпферол и кверцетин; в *C. cyanus* и *C. scabiosa* – салициловая, *n*-кумаровая кислоты, рутин и апигенин; в *C. jacea* и *C. ruthenica* – яцеозидин и аксилларин [7, 8, 13–18]. Имеются сведения о количественном содержании флавоноидов у *C. cyanus* (2.3–4.1%), *C. jacea* (0.48–0.93%), *C. scabiosa* (1.3–2.8%) [14, 15, 19–22]. Более подробного изучения компонентного и количественного состава фенольных соединений сибирских видов не проводилось.

Для 27 видов васильков, распространенных на территории Средней Азии, имеются данные о составе фенольных соединений только 8 видов, 3 из которых характерны и для территории Сибири (*C. cyanus*, *C. scabiosa*, *C. sibirica*). Компонентный состав флавоноидов изученных видов разнообразен, общими для *C. arenaria* M. Bieb. ex Willd., *C. iberica* Trevir. ex Spreng., *C. ruthenica*, *C. depressa* M. Bieb. является апигенин; для *C. arenaria* и *C. iberica* – эупаторин; для *C. iberica* и *C. depressa* – скутеллареин, скутелларин; для *C. iberica*, *C. ruthenica*, *C. depressa* – кверцетин, для *C. iberica*, *C. ruthenica* – лютеолин. Флавоноиды, идентифицированные в *C. solstitialis* L. (ориентин, гомоориентин, шафтозид), не были обнаружены в других видах [7, 8, 14, 23]. Отсутствуют данные об уровне содержания флавоноидов в среднеазиатских видах.

В связи с отсутствием данных о флавоноидах среднеазиатских видов (*C. modesti* Fed., *C. phyllopoda* Iljin, *C. gontscharovii* Iljin) и тем, что сведения о компонентном составе сибирских видов (*C. scabiosa*, *C. sibirica*) носят фрагментарный характер, фитохимическое изучение перечисленных выше видов является актуальным.

Цель настоящего исследования – изучение и сравнение состава и содержания фенольных соединений в надземных частях 6 видов рода *Centaurea*, собранных на территории Республики Алтай и Средней Азии.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Материалом для исследований служили надземные части 6 видов рода *Centaurea* (*C. gontscharovii*, *C. modesti*, *C. phyllopoda*, *C. ruthenica*, *C. scabiosa*, *C. sibirica*). Сбор материала проводили в период массового цветения растений, в зависимости от местонахождения и вида сбор проходил с начала июня до конца июля 2016–2018 гг. Образцы были собраны из ценопопуляций (ЦП), находящихся в удаленных районах на территории России (Республика Алтай), Казахстана и Таджикистана (табл. 1).

Образцы растений высушивали в естественных условиях до воздушно-сухого состояния и измельчали. Точную навеску измельченного воздушно-сухого сырья трехкратно экстрагировали 70%-м этиловым спиртом на водяной бане при температуре 55°C. Полученные экстракты концентрировали под вакуумом с помощью ротационного испарителя (“IKA RV 10 digital”, Германия), центрифугировали. Влажность сырья определяли на анализаторе влажности (“ANB ML-50”, Япония).

Определение компонентного состава и содержания фенольных соединений в этанольных экстрактах осуществляли методом обращенно-фазовой высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) на жидкостном хроматографе Shimadzu LC-20AD (Япония) с диодно-матричным детектором и колонкой Perfect Sil Target ODS-3; элюирование проводили смесью ацетонитрила, изопропилового спирта (5:2) и 0.1%-го раствора трифторуксусной кислоты, градиент от 15 до 35% от 0 до 40 мин. Скорость элюирования 1 мл/мин. Объем пробы 5 мкл. Реконструкцию хроматограмм проводили при длинах волн λ_{max} = 254, 272 нм. Содержание флавоноидов в образцах определяли методом внешнего стандарта как оптимального при хроматографическом анализе многокомпонентных смесей. В работе использованы коммерческие образцы веществ сравнения, содержание основного компонента более 95% (Lachema, Huike Phytopharm, Geneham Pharmaceutical, Sigma Aldrich).

Таблица 1. Местоположение изученных ценопопуляций (ЦП) видов рода *Centaurea* L. s.l.
Table 1. The location of the studied coenopopulations (CP) of *Centaurea* L. s.l. species

№ ЦП № CP	Вид Species	Характеристика ЦП Location of the coenopoulation	Координаты Coordinates
1	*C. gontscharovii*	Таджикистан, ущелье р. Ходжигалтон Tajikistan, Khojigalton river gorge	37°49′N 70°06′E
2	*C. modesti*	Казахстан, окр. Алматы Kazakhstan, suburbs of the city of Almaty	43°05′N 76°57′E
3	*C. phyllopoda*	Казахстан, Южно-Казахстанская обл. (= Туркестанская обл.), бас. р. Боралдай Kazakhstan, South Kazakhstan Region (= Turkestan Region), River Bordalai basin	42°50′N 70°03′E
4	*C. ruthenica*	Казахстан, Угамский хребет, ю-з склон Kazakhstan, Ugam Range, South-West slope	42°07′N 70°19′E
5	*C. ruthenica*	Таджикистан, Гиссарский хребет, Зиддинская котловина Tajikistan, Gissar Range, Zidda basin	39°07′N 68°53′E
6	*C. scabiosa*	Республика Алтай, Онгудайский район, среднее течение р. Б. Ильгумень, луговая степь Republic of Altai, Ongudaysky District, middle reaches of the river Bolshoy Ilgumen, meadow steppe	50°37′N 86°25′E
7	*C. sibirica*	Республика Алтай, Онгудайский район, среднее течение р. Б. Ильгумень, луговая степь Republic of Altai, Ongudaysky District, middle reaches of the river Bolshoy Ilgumen, meadow steppe	50°37′N 86°25′E

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Все полученные экстракты надземных частей исследованных видов рода *Centaurea* содержат соединения фенольной природы. Максимальное количество изученных вторичных метаболитов (6.7%) обнаружено в *C. ruthenica*, собранном на территории Таджикистана, а минимальное (0.6%) – в *C. gontscharovii*. В экстрактах остальных изученных видов суммарное содержание фенольных соединений составляет 2–4% (табл. 2).

Методом ВЭЖХ в надземных частях 6 видов васильков идентифицировано 24 соединения, 15 из которых являются флавоноидами, а 9 – фенолкарбоновыми кислотами (табл. 2). Во всех изученных видах идентифицирован этилгаллат.

Хроматографический анализ экстрактивных компонентов рассматриваемых видов васильков показывает, что наиболее близкими по компонентному составу фенольных соединений являются *C. ruthenica* (ЦП 4) и *C. phyllopoda*. В экстрактах этих видов идентифицированы сирингин, салипурпозид, авикулярин, байкалин и апигенин (табл. 2; рис. 1, 2). Отметим, что *C. gontscharovii* отличается от других видов рода *Centaurea*, встречающихся на территории Средней Азии, тем, что не содержит авикулярин, байкалин и апигенин.

Анализ компонентного состава фенолкарбоновых кислот показал, что во всех видах, кроме *C. sibirica*, идентифицирована галловая кислота, а хлорогеновая кислота характерна для всех видов, кроме *C. modesti*. Для трех видов (*C. ruthenica* из ЦП 5, *C. modesti* и *C. scabiosa*) характерно наличие феруловой и коричной кислот. Отметим, что дигидромирицитин идентифицирован только в *C. ruthenica* из ЦП 4, эриодиктиол и эллаговая кислота – только в *C. scabiosa*, а фумаровая и салициловая кислоты – только в *C. phyllopoda*.

Суммарное содержание флавоноидов, в пересчете на рутин, в надземных частях исследованных видов составило 0.11–1.65%. Максимальное содержание флавоноидов обнаружено в *C. ruthenica* и *C. phyllopoda* (1.65 и 1.13% соответственно), а минимальное (0.11%) – в *C. gontscharovii*.

Изучение содержания идентифицированных индивидуальных компонентов показало, что

Таблица 2. Состав и содержание (%, масс.) фенольных соединений некоторых видов рода *Centaurea* L. s.l. (% на абс. сух. сырье)
Table 2. Composition and content (%) of phenolic compounds in some *Centaurea* L. s.l. species (% in oven-dry weight basis)

№№	Соединение Compound	*C. ruthenica* (ЦП 4 / CP 4)	*C. ruthenica* (ЦП 5/ CP 5)	*C. phyllopoda*	*C. modesti*	*C. gontscharovii*	*C. scabiosa*	*C. sibirica*
1	Сирингин / Syringin	0.03		0.08		0.01	0.06	
2	Ориентин / Orientin				0.06		0.02	
3	Дигидромирицетин / Dihydromyricetin	0.08						
4	Этилгаллат / Ethyl gallate	0.01	0.04	0.03	0.02	0.003	0.03	0.06
5	Салипурпозид / Salipurposide	0.02		0.03		0.004	0.05	0.09
6	Цинарозид / Cynaroside	0.69			0.13	0.05		
7	Дигидрокверцетин / Dihydroquercetin			0.06			0.59	0.02
8	Изокверцитрин / Isoquercetin		0.12			0.02		0.07
9	Нарингенин / Naringenin	0.003				0.01	0.01	
10	Авикулярин / Avicularin	0.15	0.88	0.91	0.2			
11	Хризин-7-0-глюкозид / Chrysin-7-0-glucoside		0.21		0.05	0.004	0.15	
12	Мирицетин / Myricetin				0.24			0.21
13	Байкалин / Baicalin	0.01	0.01	0.02	0.03		0.03	
14	Эриодиктиол / Eriodictyol						0.01	
15	Апигенин / Apigenin	0.04	0.57	0.03	0.11			
16	Галловая кислота / Gallic acid	0.18	0.3	0.23	0.67	0.08	0.21	
17	Фумаровая кислота / Fumaric acid			0.16				
18	Хлорогеновая кислота / Chlorogenic acid	0.17	0.13	0.9		0.09	0.09	0.9
19	*n*-Оксибензойная кислота / *n*-Oxybenzoic acid	0.06	0.21	0.1	0.09			
20	Кофейная кислота / Caffeic acid	0.04	0.51					0.07
21	Феруловая кислота / Ferulic acid	0.03	0.14		0.12		0.01	
22	Эллаговая кислота / Ellagic acid						0.1	
23	Салициловая кислота / Salicylic acid			0.0004				
24	Коричная кислота / Cinnamic acid		0.01		0.01	0.01	0.02	0.13
Суммарное содержание гидроксикоричных кислот / Total hydroxycinnamic acids content		**0.5**	**1.3**	**1.4**	**0.9**	**0.2**	**0.4**	**1.1**
Суммарное содержание флавоноидов / Total flavonoids content		**0.9**	**1.6**	**1.1**	**0.8**	**0.1**	**1.0**	**0.4**

Примечание: данные представлены в виде среднего арифметического значения, стандартная ошибка составляет ± 0.001–0.01.
Notes: data are expressed as arithmetic mean, standard error is ± 0.001–0.01.

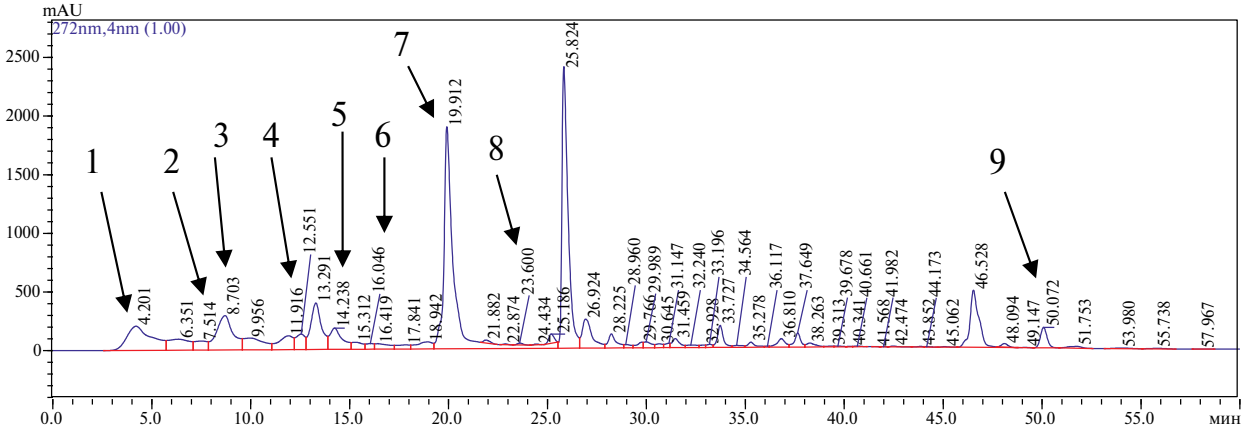


Рис. 1. Хроматограмма этанольного экстракта надземной части Centaurea ruthenica (ЦП 4) при длине волны 272 нм.
По горизонтали: время удерживания, мин; *по вертикали*: единица оптической плотности, mAU.
1 – галловая кислота, 2 – сирингин, 3 – хлорогеновая кислота, 4 – *n*-оксибензойная кислота, 5 – дигидромирицетин, 6 – этилгаллат, 7 – цинарозид, 8 – нарингенин, 9 – апигенин.
Fig. 1. Chromatogram of ethanol extract of the aerial part of *C. ruthenica* (CP 4) at a wavelength of 272 nm.
X-axis – retention time, min; *y-axis* – absorbance unit, mAU.
1 – gallic acid, 2 – syringin, 3 – chlorogenic acid, 4 – *p*-oxybenzoic acid, 5 – dihydromyricetin, 6 – ethyl gallate, 7 – cynaroside, 8 – naringenin, 9 – apigenin.

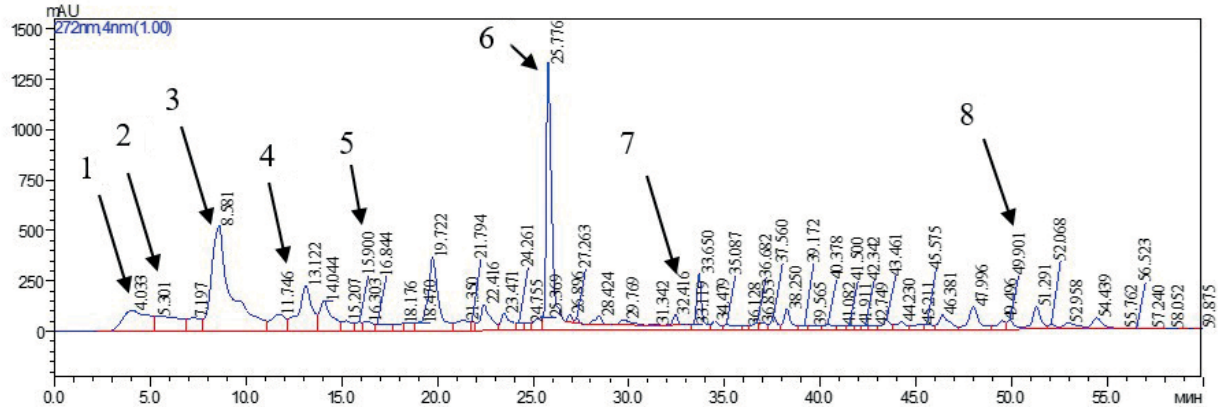


Рис. 2. Хроматограмма этанольного экстракта надземной части *Centaurea phyllopoda* (детектирование при длине волны 272 нм).
По горизонтали: время удерживания, мин; *по вертикали*: единица оптической плотности, mAU.
1 – галловая кислота, 2 – фумаровая кислота, 3 – хлорогеновая кислота, 4 – *n*-оксибензойная кислота, 5 – этилгаллат, 6 – авикулярин, 7 – байкалин, 8 – апигенин.
Fig. 2. Chromatogram of ethanol extract of the aerial part of *Centaurea phyllopoda* at a wavelength of 272 nm.
X-axis – retention time, min; *y-axis* – absorbance unit, mAU.
1 – gallic acid, 2 – fumaric acid, 3 – chlorogenic acid, 4 – *p*-oxybenzoic acid, 5 – ethyl gallate, 6 – avicularin, 7 – baicalin, 8 – apigenin.

ряд видов может служить источником цинарозида (*C. ruthenica* из ЦП 4), дигидрокверцетина (*C. scabiosa*), авикулярина (*C. ruthenica* из ЦП 5; *C. phyllopoda*) и апигенина (*C. ruthenica* из ЦП 5). В качестве источника гидроксикоричных кислот можно рекомендовать виды *C. ruthenica* из ЦП 5; *C. phyllopoda* и *C. sibirica*. Анализ компонентного состава показал, что *C. modesti* отличается максимальным содержанием галловой кислоты, *C. phyllopoda* и *C. sibirica* – хлорогеновой кислоты, а *C. ruthenica* из ЦП 5 – кофейной кислоты.

Выявлено существенное различие в содержании флавоноидов и гидроксикоричных кислот в сырье (надземных частях) *C. ruthenica* из разных регионов. Образец, собранный на территории Казахстана (*C. ruthenica*, ЦП 4), отличается низким уровнем флавоноидов – 0.9% и гидроксико-

ричных кислот – 0.5%. В то же время образец из Таджикистана (*C. ruthenica*, ЦП 5) содержит 1.6% флавоноидов и 1.3% гидроксикоричных кислот. Сырье *C. ruthenica* из Таджикистана отличалось наличием коричной кислоты. Несмотря на это, указанные образцы близки по компонентному составу, так, в обоих идентифицирован ряд кислот: галловая, хлорогеновая, поксибензойная, кофейная и феруловая. Общими для обоих ценопопуляций *C. ruthenica* являются этилгаллат, авикулярин, байкалин и апигенин.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С помощью метода высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) изучен компонентный состав надземных частей 6 видов рода *Centaurea* L. s.l. (*C. gontscharovii* Iljin, *C. modesti* Fed., *C. phyllopoda* Iljin, *C. ruthenica* Lam., *C. scabiosa* L., *C. sibirica* L.), произрастающих на территории Сибири и Средней Азии. Компонентный состав и содержание фенольных соединений азиатских видов *C. modesti*, *C. phyllopoda* и *C. gontscharovii* изучен впервые.

Показано, что *C. ruthenica* из Республики Таджикистан и *C. phyllopoda* являются перспективными источниками флавоноидов и гидроксикоричных кислот. Изученные азиатские виды перспективны в качестве источников индивидуальных соединений, таких как авикулярин, апигенин и байкалин. У *C. ruthenica* из Таджикистана суммарное содержание соединений фенольной природы заметно выше по сравнению с другими изученными видами. Сравнение компонентного состава *C. ruthenica* из разных регионов свидетельствует о том, что важным фактором в накоплении вторичных метаболитов является климат, в частности количество осадков, влажность и высота над уровнем моря. Это положение нуждается в дальнейшем изучении и подтверждении.

Для территории Сибири вид *C. scabiosa* является потенциальным источником флавоноидов, в частности дигидрокверцетина, а *C. sibirica* – гидроксикоричных кислот, в частности хлорогеновой кислоты. Отметим, что *C. sibirica* и *C. phyllopoda* содержат одинаковое количество хлорогеновой кислоты – 0.9%. Ранее у *C. sibirica* был идентифицирован только кверцимеритрин. Наши исследования показали, что в надземных частях этого вида накапливаются еще 5 флавоноидов: этилгаллат, салипурпозид, дигидрокверцетин, изокверцитрин и мирицетин.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Кирпичников М.Э.* 1981. Семейство сложноцветные или астровые (Asteraceae или Compositae). – В кн.: Жизнь растений. Цветковые растения. Т. 5, ч. 2. М. С. 462–475. http://plantlife.ru/books/item/f00/s00/z0000033/st047.shtml
2. *Камелин Р.В.* 2000. Сложноцветные (краткий обзор системы). СПб.; Барнаул. 60 с.
3. *Клоков М.В.* 1963. Род *Centaurea* L. – Василек. – В кн.: Флора СССР. Т. 28. М.; Л. С. 380–579.
4. *Жирова О.С.* 1997. Род *Centaurea* L. – Василек. – В кн.: Флора Сибири. Т. 13. Новосибирск. С. 231–240.
5. *Зуев В.В.* Род *Centaurea* L. – В кн.: Конспект флоры Сибири: Сосудистые растения. 2005. Новосибирск. С. 217–218.
6. *Введенский А.И., Камелин Р.В.* 1993. Определитель растений Средней Азии (критический конспект флоры). Т. 10. 692 с.
7. Растительные ресурсы России: Дикорастущие цветковые растения, их компонентный состав и биологическая активность. 2013. Т. 5. Семейство Asteraceae (Compositae). СПб.; М. 318 с.
8. *Ларькина М.С., Кадырова Т.В., Ермилова Е.В.* 2011. Фенольные соединения видов рода *Centaurea* мировой флоры (обзор). – Хим. растит. сырья. 4: 7–14. https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17289461
9. *Shakeri A., Amini E., Asili J., Masullo M., Piacente S., Iranshahi M.* 2018. Screening of several biological activities induced by different sesquiterpene lactones isolated from *Centaurea behen* L. and *Rhaponticum repens* (L.) Hidalgo. – Nat. Prod. Res. 32(12): 1436–1440. https://doi.org/10.1080/14786419.2017.1344661
10. *Shakeri A., Masullo M., Bottone A., Asili J., Emami S.A., Piacente S., Iranshahi M.* 2018. Sesquiterpene lactones from *Centaurea rhizantha* C.A. Meyer. – Nat. Prod. Res. 33(14): 1478–6427. https://doi.org/10.1080/14786419.2018.1483926
11. *Адекенов С.М., Кадирбелина Г.М., Садыкова В.И.* 1986. Биологически активные соединения *Centaurea pseudomaculosa*. – Известия АН КазССР. Серия химическая. 3: 65–69.
12. *Bubenchikov V.N., Litvinenko V.I., Popova T.P.* 1992. [Phenolic compounds of *Centaurea pseudomaculosa*]. – Chem. Nat. Compd. 28(5): 507. https://doi.org/10.1007/BF00630667

13. *Минаева В.Г.* 1970. Лекарственные растения Сибири. Новосибирск. 282 с.
14. *Ларькина М.С., Кадырова Т.В., Коваль В.В., Ермилова Е.В.,* Юсубов *М.В.* 2012. Флавоноиды надземной части василька шероховатого (*Centaurea scabiosa* L.). – Хим. растит. сырья. 4: 175–180. https://elibrary.ru/item.asp?id=18834506
15. *Ларькина М.С., Кадырова Т.В., Ермилова Е.В., Краснов Е.А.* 2009. Количественное определение флавоноидов в надземной части василька шероховатого (*Centaurea scabiosa* L.). – Хим.-фарм. журн. 43(6): 14–17. http://chem.folium.ru/index.php/chem/article/view/335
16. *Escher G.B., Santos J.S., Rosso N.D., Marques M.B., Azevedo L., do Carmo M.A.V., et al.* 2018. Chemical study, antioxidant, anti-hypertensive, and cytotoxic/cytoprotective activities of *Centaurea cyanus* L. petals aqueous extract. – Food Chem Toxicol. 118: 439–453. https://doi.org/10.1016/j.fct.2018.05.046
17. *Forgo P., Zupkó I., Molnár J., Vasas A., Dombi G., Hohmann J.* 2012. Bioactivity-guided isolation of antiproliferative compounds from *Centaurea jacea* L. – Fitoterapia. 83(5): 921–925. https://doi.org/10.1016/j.fitote.2012.04.006
18. *Boldizsár I., Füzfai Z., Tóth F., Sedlák E., Borsodi L., Molnár-Perl I.* 2010. Mass fragmentation study of the trimethylsilyl derivatives of arctiin, matairesinoside, arctigenin, phylligenin, matairesinol, pinoresinol and methylarctigenin: their gas and liquid chromatographic analysis in plant extracts. – J. Chromatogr A. 1217: 1674–1682. https://doi.org/10.1016/j.chroma.2010.01.019
19. *Подолина Е.А., Ханина М.А., Рудаков О.Б., Небольсин А.Е.* 2018. Ультразвуковая экстракция и уф-спектрофотометрическое определение суммы флавоноидов и дубильных веществ в надземной части василька синего. – Вестник Воронежского государственного университета. Хим. Биол. Фармац. 2: 28–35. http://www.vestnik.vsu.ru/pdf/chembio/2018/02/2018–02–04.pdf
20. *Лисянская Д.К., Ханина М.А., Родин А.П.* 2016. Аспекты фармакогностического исследования *Centaurea cyanus* L. – В сб.: Студенческая наука Подмосковью: материалы Международной научной конф. молодых ученых. Орехово-Зуево. С. 390–394.
21. *Кадырова Т.В., Ермилова Е.В., Ларькина М.*С. 2014. Антиоксидантная активность экстрактов василька лугового (*Centaurea jacea* L.) и василька ложнопятнистого (*Centaurea pseudomaculosa* Dobrocz.). – Хим. растит. сырья. 2: 143–146. https://doi.org/10.14258/jcprm.1402143
22. *Вагабова Ф.А., Раджабов Г.К., Мусаев А.М.* 2017. Изменчивость содержания фенольных соединений некоторых видов рода василек из природных популяций Дагестана. – Международный научно-исследовательский журнал. 12: 6–10. https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.66.015
23. *Csapi B., Hajdu Z., Zupko I., Berenyi A., Forgo P., Szabo P., Hohmann J.* 2010. Bioactivity-guided isolation of antiproliferative compounds from *Centaurea arenaria*. – Phytother. Res. 24(11): 1664–1669. https://doi.org/10.1002/ptr.3187

Component Compoition Of The Aerial Parts *Centaurea* (Asteraceae) Species From Siberia And Central Asia

E. A. Kasterova[1,*], A. S. Revushkin[2], A. L. Ebel[2, 3]

[1]*Russian State Agrarian University, Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia*
[2]*National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia*
[3]*Central Siberian Botanical Garden SB RAS, Novosibirsk, Russia*
******e-mail: evgenia.kasterova@yandex.ru*

Abstract – The component composition of 6 species of the genus *Centaurea* L. s.l. (*C. gontscharovii* Iljin, *C. modesti* Fed., *C. phyllopoda* Iljin, *C. ruthenica* Lam., *C. scabiosa* L., *C. sibirica* L.) growing in Siberia and Central Asia was studied. For the species *C. modesti*, *C. phyllopoda*, *C. gontscharovii*, the component composition was determined for the first time. Using high performance liquid chromatography (HPLC), 24 phenolic compounds were identified in the aerial parts of the studied species, of which 15 are flavonoids, and 9 are phenolic acids. Ethyl gallate was identified in all studied species. For Central Asian species, except for *C. gontscharovii*, the presence of avicularin, baicalin, and apigenin is characteristic. Gallic acid was identified in all species except *C. sibirica*. Chlorogenic acid was characteristic of all species except *C. modesti*. Syringin, salipurposide, avicularin, baicalin, and apigenin were found in *C. ruthenica* and *C. phyllopoda*. Dihydromyricitin was identified in *C. ruthenica* from Kazachstan only, eriodictyol and ellagic acid were identified in *C. scabiosa*, and fumaric and salicylic acids were identified in *C. phyllopoda*. In the studied species, the content of phenolic compounds in terms of dry raw materials was 0.6–6.7%.

Keywords: Centaurea, flavonoids, phenolic acids, HPLC, Siberia, Central Asia

REFERENCES

1. *Kirpichnikov M.E.* 1981. [Family Compositae or Asteraceae]. – In: [Plant life: Flowering plants]. Vol. 5, part 2. Moscow. P. 462–475. http://plantlife.ru/books/item/f00/s00/z0000033/st047.shtml (In Russian)
2. *Kamelin R.V.* 2000. [Compositae (overview of the system)]. St. Petersburg; Barnaul. 60 p. (In Russian)
3. *Klokov M.V.* 1963. *Centaurea* L. – In: [Flora of the USSR]. Vol. 28. Moscow; Leningrad. P. 380–579. (In Russian)
4. *Zhirova O.S.* 1997. *Centaurea* L. – In: [Flora of Siberia]. Vol. 13. Novosibirsk. P. 231–240. (In Russian)
5. *Zuev V.V. Centaurea* L. – In: [summary of Siberian flora: Vascular plants]. 2005. Novosibirsk. P. 217–218. (In Russian)
6. *Vvedenskij A.I., Kamelin R.V.* 1993. [Key to plants of Central Asia (critical summary of flora)]. Vol. 10. 692 p. (In Russian)
7. [*Plant* Resources of Russia: Wild flowering plants and their component composition and biological activity. Family Asteraceae (Compositae)]. 2013. Vol. 5. St. Petersburg; Moscow. 312 p. (In Russian)
8. *Lar'kina M.S., Kadyrova T.V., Ermilova E.V.* 2011. [Phenolic compounds of *Centaurea* species of global flora (review)]. – Khimija rastitel'nogo syr'ja. 4: 7–14. https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17289461 (In Russian)
9. *Shakeri A., Amini E., Asili J., Masullo M., Piacente S., Iranshahi M.* 2018. Screening of several biological activities induced by different sesquiterpene lactones isolated from *Centaurea behen* L. and *Rhaponticum repens* (L.) Hidalgo. – Nat. Prod. Res. 32(12): 1436–1440. https://doi.org/10.1080/14786419.2017.1344661
10. *Shakeri A., Masullo M., Bottone A., Asili J., Emami SA., Piacente S., Iranshahi M.* 2018. Sesquiterpene lactones from *Centaurea rhizantha* C.A. Meyer. – Nat. Prod. Res. 33(14): 1478–6427. https://doi.org/10.1080/14786419.2018.1483926
11. *Adekenov S.M., Kadirbelina G.M., Sadykova V.I.* 1986. [Biologically active compounds of *Centaurea pseudomaculosa*]. – Bulletin of the Academy of Sciences of the Kazakh SSR. Chemical series. 3: 65–69. (In Russian)
12. *Bubenchikov V.N., Litvinenko V.I., Popova T.P.* 1992. [Phenolic compounds of *Centaurea pseudomaculosa*]. – Chem. Nat. Compd. 28(5): 507. https://doi.org/10.1007/BF00630667
13. *Minaeva V.G.* 1970. [Medicinal plants of Siberia]. Novosibirsk. 282 p. (In Russian)
14. *Larkina M.S., Kadirova T.V., Koval V.V., Ermilova E.V., Usubov M.V.* 2012. [Flavonoids of the aerial parts of *Centaurea scabiosa* L.]. – Khimija rastitel'nogo syr'ja. 4: 175–180. https://elibrary.ru/item.asp?id=18834506 (In Russian)
15. *Lar'kina M.S., Kadyrova T.V., Ermilova E.V., Krasnov E.A.* 2009. Quantitative determination of flavonoids from the aerial part of greater knapweeed (*Centaurea scabiosa* L.). – Khimiko-Farmatsevticheskii Zhurnal. 43(6): 320–323. https://doi.org/10.1007/s11094-009-0295-y
16. *Escher G.B., Santos J.S., Rosso N.D., Marques M.B., Azevedo L., do Carmo M.A.V., et al.* 2018. Chemical study, antioxidant, anti-hypertensive, and cytotoxic/cytoprotective activities of *Centaurea cyanus* L. petals aqueous extract. – Food Chem. Toxicol. 118: 439–453. https://doi.org/10.1016/j.fct.2018.05.046
17. *Forgo P., Zupkó I., Molnár J., Vasas A., Dombi G., Hohmann J.* 2012. Bioactivity-guided isolation of antiproliferative compounds from *Centaurea jacea* L. – Fitoterapia. 83(5): 921–925. https://doi.org/10.1016/j.fitote.2012.04.006
18. *Boldizsár I., Füzfai Z., Tóth F., Sedlák E., Borsodi L., Molnár-Perl I.* 2010. Mass fragmentation study of the trimethylsilyl derivatives of arctiin, matairesinoside, arctigenin, phylligenin, matairesinol, pinoresinol and methylarctigenin: their gas and liquid chromatographic analysis in plant extracts. – J. Chromatogr A. 1217: 1674–1682. https://doi.org/10.1016/j.chroma.2010.01.019
19. *Podolina E.A., Khanina M.A., Rudakov O.B., Nebolsin A.E.* 2018. Ultrasonic extraction and UV spectrophotometric determination of the amount of flavonoids and tanning agents in the above-ground part of a bluebottle. – Proc. of Voronezh State University. Ser.: Chem. Biol. Pharm. 2: 28–35. http://www.vestnik.vsu.ru/pdf/chembio/2018/02/2018–02–04.pdf (In Russian)
20. *Lisyanskaya D.K., Khanina M.A., Rodin A.P.* 2016. [Aspects of a pharmacognostic study of *Centaurea cyanus* L.]. – In: [Student science for the Moscow Region: Proc. of the Int. sci. conf. of young scientists]. P. 390–394. (In Russian)
21. *Kadyrova T.V., Ermilova E.V., Larkina M.S.* 2014. Antioxidant activity of the extracts from *Centaurea jacea* L. and *Centaurea pseudomaculosa* Dobrocz. – Khimija rastitel'nogo syr'ja. 2: 143–146. https://doi.org/10.14258/jcprm.1402143 (In Russian)
22. *Vagabova F.A., Radzhabov G.K., Musaev A.M.* 2017. Variability of the content of phenolic compounds of some species of blue cornflower family from natural populations of Daghestan. – International Research Journal. 12: 6–10. https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.66.015 (In Russian)
23. *Csapi B., Hajdu Z., Zupko I., Berenyi A., Forgo P., Szabo P., Hohmann J.* 2010. Bioactivity-guided isolation of antiproliferative compounds from *Centaurea arenaria*. – Phytother. Res. 24(11): 1664–1669. https://doi.org/10.1002/ptr.3187

РАСТИТЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ, 2024, том 60, вып. 1, с. 112–124

БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ РАСТЕНИЙ

УДК 615.322; 615.849.114

CALENDULA OFFICINALIS (ASTERACEAE) КАК РАДИОСЕНСИБИЛИЗАТОР ДЛЯ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ ОПУХОЛЕЙ

© 2024 г. С. Д. Колдман[1, *], В. А. Колдман[1, 2], А. В. Белоусов[2], Л. И. Мазалецкая[3]

[1]Федеральный научно-клинический центр физико-химической медицины им. академика Ю.М. Лопухина (ФНКЦ ФХМ им. Ю. М. Лопухина ФМБА России), г. Москва, Россия

[2]Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна (ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А. И. Бурназяна ФМБА России), г. Москва, Россия

[3]Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля Российской академии наук (ИБХФ РАН), г. Москва, Россия

**e-mail: epistularum@yandex.ru*

Поступила в редакцию 24.10.2023 г.
После доработки 08.12.2023 г.
Принята к публикации 20.12.2023 г.

Изучено действие водно-спиртовой настойки календулы лекарственной *Calendula officinalis* L. (Asteraceae) на опухолевые клетки различного видового и тканевого происхождения, определен ее потенциал как радиосенсибилизатора в сочетании с γ-излучением. Установлено, что настойка календулы вызывает гибель опухолевых клеток независимо от их p53 и p21 статуса. Настойка календулы обладает антиоксидантными свойствами, однако для клеток с активным p21 проявляет радиосенсибилизирующие, а не радиопротекторные свойства. Для клеток с отсутствием p21 настойка календулы является радиопротектором, таким образом, гибель клеток является p21 опосредованной. Проведено исследование радиосенсибилизирующих свойств *C. officinalis* на модели меланомы *in vivo* у мышей. В сочетании с γ-излучением настойка вызывает значительное торможение роста опухоли (на 47%) по сравнению с облучением без препарата. Значительный радиосенсибилизационный эффект и преодоление устойчивости опухолевых клеток, вызванной деактивацией p53, обусловливают перспективность настойки в качестве средства для радиотерапии, позволяющего снизить эффективную дозу облучения в 1.7 раз.

Ключевые слова: *Calendula officinalis*, радиотерапия, меланома, растительные радиосенсибилизаторы

DOI: 10.31857/S0033994624010089, **EDN:** HAAVMG

Календула лекарственная, или ноготки лекарственные (*Calendula officinalis* L.) – травянистое растение семейства Сложноцветные или Астровые (Asteraceae), традиционно используемое для лечения различных заболеваний кожи и слизистых. Изучение химического состава *C. officinalis* впервые начато в конце XIX в. с исследования красящих пигментов цветков *C. officinalis*, однако регулярными исследования метаболитов этого вида и рода стали только во второй половине XX в. К настоящему времени идентифицировано 529 соединений, выделенных из *C. officinalis* [1]. Наиболее часто в фармакологии и косметологии используют цветки *C. officinalis*, поэтому они являются наиболее изученной частью (определено 403 соединения); в листьях, корнях и семенах обнаружено 138 соединений.

В настоящее время *C. officinalis* применяется в составе косметических средств [2], ранозаживляющих средств наружного применения [3, 4], а также используется в качестве противовоспалительного [5] и противомикробного средства при простудных заболеваниях, гепато- и рено-протектора [6, 7]. Современные исследования подтверждают, что экстракт *C. officinalis* улучшает заживление острых ран, обеспечивая более быстрое разрешение фазы воспаления с увеличением образования грануляционной ткани в испытуемых группах, получавших препарат *C. officinalis*, а также ускорение эпителизации и образование более мягкого рубца по сравнению с контрольной группой [8, 9]. Имеются данные об успешном использовании экстракта *C. officinalis* для предотвращения острого постлучевого дер-

матита [10–12], а также для предотвращения метастазирования меланомы в опытах на мышах [13, 14]. Описание свойств *C. officinalis* привлекло к ней наше внимание как к возможному компоненту наружного средства для радиотерапии кожных новообразований, способствующему уменьшению радиационных ожогов и ускоряющему заживление [15, 16]. Исследование антиоксидантных свойств настойки *C. officinalis* позволяло предположить радиопротекторные свойства, однако изучение эффектов настойки *C. officinalis* на опухолевых клеточных культурах в сочетании с γ-излучением в терапевтических дозах показало хороший радиосенсибилизирующий эффект. Также радиосенсибилизирующий эффект подтвердился in vivo на перевиваемой меланоме мыши B16 (ФИД = 0.57).

В данном исследовании впервые изучен экстракт *C. officinalis* как потенциальный радиосенсибилизатор для терапии злокачественных опухолей, что, в сочетании с регенеративным и ранозаживляющим потенциалом препарата, может повысить эффективность радиотерапии и снизить риск побочных эффектов – лучевых ожогов.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В экспериментах использовали следующие линии клеток: A375 (меланома человека), HCT116 (аденокарцинома толстой кишки человека), HCT116p53KO (изогенная сублиния с делецией гена *TP53*, кодирующего проапоптотический белок p53), HCT116p21KO (изогенная сублиния с делецией гена *CDKN1A*, кодирующего проапоптотический белок p21). Источник клеточных линий – ATCC, Манассас, США. Реактивы приобретены в фирме “ПанЭко”, Россия (кроме особо оговоренных случаев). Клетки культивировали в модифицированной Дульбекко среде Игла (DMEM) с добавлением 10%-й эмбриональной телячьей сыворотки, 2 мМ L–глутамина, 100 ЕД/мл пенициллина и 100 мкг/мл стрептомицина при 37°C, 5% CO_2 в увлажненной атмосфере. В экспериментах использовали клетки в логарифмической фазе роста. Для профилактики микоплазменного заражения использовался препарат Plasmacin (Invitrogen, Франция).

Было исследовано несколько настоек *C. officinalis* от разных производителей. Все настойки произведены стандартизованно, из 100 г растительного сырья на 1 л настойки на 70% этаноле. Между настойками разных производителей не выявлено значимой разницы в биологических эффектах (данные сравнения настоек не приведены).

Измерение антиоксидантной активности проводили в этилбензоле при 60°C. Эта система требует отсутствия следов воды, поэтому для исследования к 27 мг вещества было добавлено 0.3 мл этанола. Это не привело к полному растворению, но часть вещества перешла в раствор, что позволило провести оценку наличия антиоксидантов в настойке. Максимальный объем спиртовой пробы составил 0.05 мл на общий объем реакционной смеси, равный 4.5 мл (реакционная смесь). Ингибирующее действие содержащихся в настойке *C. officinalis* веществ изучали волюмометрическим методом в модельной реакции окисления этилбензола (333 K), инициированного динитрилом азаизомасляной кислоты, скорость инициирования составляла $W_i = 5 \times 10^{-8}$ моль/л с.

Этилбензол химически чистый перегоняли над металлическим натрием. Реакционную смесь этилбензола с инициатором предварительно термостатировали, затем вводили добавку антиоксиданта (АО). Из кинетической кривой поглощения кислорода определяли величину периода индукции (τ) по методу модельной цепной реакции [17, 18] и начальную скорость поглощения кислорода (W).

При расчете принимали, что на одной молекуле антиоксиданта обрывается один свободный радикал, т.е. это параметр f [AO], где f – стехиометрический коэффициент ингибирования, показывающий сколько радикалов гибнет на одной молекуле антиоксиданта, [AO] – концентрация антиоксиданта. Из величины периода индукции определяли содержание антиоксиданта в реакционной смеси, используя уравнение:

$$f[AO] = \tau \times W_i,$$

где τ – величина периода индукции, W_i – скорость инициирования свободных радикалов.

Значение константы скорости взаимодействия антиоксиданта с пероксильными радикалами этилбензола k_7 рассчитывали по уравнению

$$W_O / W - W / W_O = fk_7[AO]_O / (k_6 W_i)^{0.5},$$

где W_O и W – скорости окисления в отсутствие и присутствии добавок АО соответственно, k_6 – константа скорости квадратичной рекомбинации радикалов $RO_2^{\cdot}$, равная 1.9×10^7 моль/л с [19].

Анализ цитотоксичности препарата проводился при помощи стандартного МТТтеста в 96 луночных планшетах, с контролем в виде серийных разведений 70%-го этанола, соответствующих серийным разведениям исследуемого препарата. Окраску регистрировали с помощью спектрофотометра Multiskan FC (Thermofisher Scientific, США) при длине волны 540 нм.

Для облучения клетки рассеивали в логарифмической фазе в культуральные флаконы площадью 25 см^2 и оставляли на сутки для прикрепления и распластывания. Через сутки в часть флаконов вносили *C. officinalis* в выбранных разведениях. Для удобства конечную концентрацию *C. officinalis* в эксперименте определяли через пересчет разведения на сухое вещество, полученное после вакуумного удаления растворителя. Через 24 часа после внесения клетки облучали рентгеновским излучением на установке РУСТ М–1 (Диагностика–М, Россия) с максимальной энергией фотонов в спектре 200 кэВ в дозах 1–4 Гр, с мощностью дозы 0.85 Гр/с.

Выживаемость клеток после облучения, в том числе в присутствии *C. officinalis*, исследовали методом клоногенного анализа. Облученные клетки подсчитывали и методом последовательных разведений рассаживали на чашки Петри диаметром 9 см в количестве 500 клеток на чашку, при объеме среды 20 мл на чашку. Чашки с клетками инкубировали при 37°C, 5% CO_2 в увлажненной атмосфере 14 дней. После этого среду аккуратно убирали, клетки фиксировали ледяным метанолом (5 мл на чашку) и инкубировали в метаноле при температуре +4°C в течении 10 мин. Затем убирали метанол, фиксированные колонии в течении 10 мин окрашивали 0.5%-ным раствором кристаллического фиолетового (5 мл на чашку), трижды промывали водой очищенной для уменьшения фона красителя и подсчитывали окрашенные колонии визуально. Число колоний в контрольных чашках, не подвергавшихся облучению, принимали за 100%, относительно него вычисляли процент колониеобразования в остальных чашках эксперимента.

Фактор изменения дозы (ФИД) – критерий, используемый при количественной оценке эффекта, обусловленного применением радиомодификаторов (протекторов или сенсибилизаторов) [19]. ФИД вычисляется по формуле ФИД = $Д_{оп}$ / $Д_к$, где $Д_{оп}$ и $Д_к$ – дозы, вызывающие одинаковые по величине эффекты в опыте (то есть с применением радиомодификатора) и в контроле (без применения радиомодификатора). В случае определения ФИД по биологической активности величиной эффекта выбран процент выживших колоний в клоногенном анализе при различных воздействиях по отношению к контролю без воздействий. Оценку производили при помощи кривых выживания, построенных на основе результатов клоногенного анализа.

Для исследований *in vivo* использовали мышей самок линии C57Bl/6, массой тела 18–20 грамм, полученных из питомника “Столбовая”. Все животные были здоровы, имели ветеринарный сертификат качества о состоянии здоровья. Мышей содержали в специальных, просторных клетках по 7 особей при температуре воздуха 20°–23°C и относительной влажности 60–65% в условиях естественного освещения и принудительной вентиляции на подстилке из древесных стружек, стерилизованных в сухожаровом шкафу. Для кормления животных использовали стандартный промышленный и сертифицированный брикетированный корм для грызунов с установленным сроком годности. Доступ к корму не ограничивался. Сырую питьевую воду, помещенную в закрытые поилки, мыши получали в неограниченном количестве. Для питья использовали поилки на 250 мл с конической пробкой из нержавеющей стали с отверстием в центре.

В качестве модельной опухоли была взята перевиваемая меланома мышей B16. Штамм поддерживается на мышах линии C57BL/6 подкожной перевивкой опухолевой взвеси на 16–20 сутки роста опухоли. В эксперименте использовали перевивку путем подкожного введения 0.3 мл взвеси опухолевой ткани 5×10^5 клеток в растворе Хенкса. Перевиваемость опухоли составляла 100%.

Лечение начинали при уверенной пальпации опухоли на бедре, при диаметре опухоли не менее 5 мм. Для введения использовали препарат *C. officinalis*, высушенный и ресуспензированный в стерильном 0.9%-ном растворе хлорида натрия. Препарат вводили подкожно в холку за полчаса до облучения. Мышей фиксировали в специальных защищенных ячейках, в которых проводили локальное облучение опухоли на рентгеновской установке РУСТ М-1 (Диагностика-М, Россия). Напряжение на лучевой трубке составляло 200 кВ, мощность дозы 0.2 Гр/мин.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Наиболее распространенные лекарственные формы *C. officinalis*, не содержащие дополнительных действующих веществ – водно-спиртовая настойка и сухое лекарственное сырье. Для изучения нами выбрана водно-спиртовая настойка, т.к. ее производство стандартизировано, к тому же она не нуждается в дополнительной обработке и стерилизации, в отличие от сухого лекарственного сырья.

При удалении растворителя из настойки с помощью вакуумного насоса было установлено, что во всех исследованных образцах содержится 27 мг/мл "сухого" вещества *C. officinalis*. Из полученного "сухого" вещества растворяется в спирте 15.8 мг/мл, для полного обратного растворения необходимо снова добавлять воду до исходной концентрации.

Добавление раствора *C. officinalis* в этиловом спирте замедляет процесс окисления, т.е. растворимое в спирте вещество содержит антиоксиданты [16]. Из сравнения кинетических кривых (рис. 1) в отсутствие (контроль) и в присутствии *C. officinalis* вычислили величину τ, и далее с использованием уравнения $f[AO] = \tau W_i$ рассчитали количество содержащегося в растворе антиоксиданта, которое составило 2.4×10^{-5} ммоль/мл, что в пересчете на исходную настойку при $f = 1$ составляет 8×10^{-5} ммоль/мл. В том случае, если $f = 2$ (что наиболее характерно для антиоксидантов класса фенолов), [АО] составит 4×10^{-5} ммоль/мл.

Из начальной скорости окисления в присутствии добавки настойки *C. officinalis* была проведена оценка величины константы скорости взаимодействия антиоксиданта с пероксильными радикалами этилбензола, которая составила $k_7 = 1.1 \times 10^5$ л/моль с, что сопоставимо с аналогичными константами алкилзамещенных фенолов и флавоноидов (кверцетина и дигидрокверцетина).

Ранее антирадикальную и антиоксидантную активность липидов из цветков *C. officinalis*, выделенных экстракцией хлороформом, изучали на моделях инициированного и автоокисления метилолеата [17]. Концентрацию АО в хлороформном липидном экстракте определили равной 4.35×10^{-5} моль/л, что сравнимо с результатом для водно-спиртовой настойки.

В результате исследования цитотоксичности *C. officinalis* на четырех линиях клеток показано, что опухолевые клетки различного генеза при

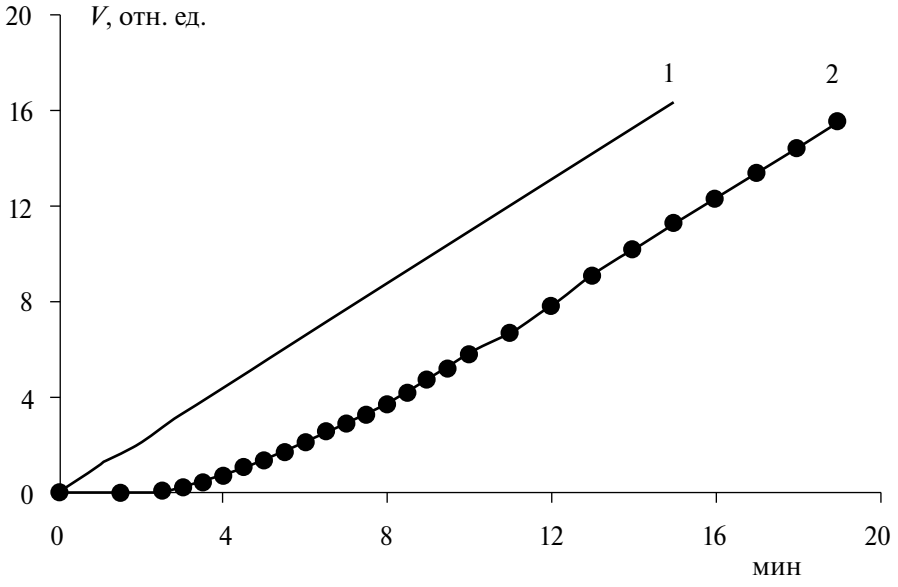


Рис. 1. Кинетические кривые поглощения кислорода в отсутствие (1) и в присутствии спиртовой вытяжки *Calendula officinalis* (2). Этилбензол, 333 K, Wi = 5 × 10 – 8 моль/л с.
По горизонтали – минуты, *по вертикали* – V, относительные единицы.
Fig. 1. Kinetic oxygen absorption curves in absence (1) and in presence of *Calendula officinalis* alcoholic extract (2). Ethylbenzene, 333 K, Wi = 5 × 10 – 8 mol/l s.
X-axis – minutes, *y-axis* – V, relative units.

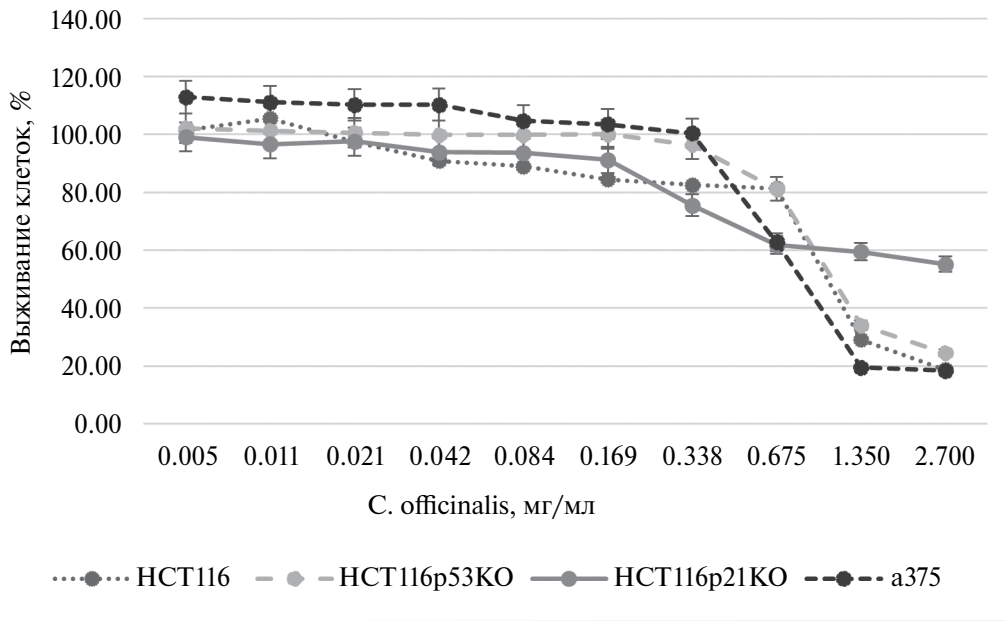


Рис. 2. Определение цитотоксичности *Calendula officinalis* по отношению к четырем линиям опухолевых клеток.
По горизонтали – концентрация *Calendula officinalis* в культуральной среде в пересчете с разведения водно-спиртовой настойки на сухое вещество, мг/мл. *По вертикали* – выживаемость клеток в % от контроля.
Fig. 2. Determination of *Calendula officinalis* cytotoxicity against four tumor cell lines.
X-axis – concentration of *Calendula officinalis* in the culture medium, calculated with reference to dry substance, mg/ml. *Y-axis* – cell survival as a percentage of control.

низких концентрациях экстракта в среде отвечают на воздействие практически одинаково (рис. 2). При концентрациях экстракта в среде более 1.2 мг/мл клетки с делецией *CDKN1A* приобретают преимущество в выживании, что может быть связано с отсутствием остановки клеточного цикла в ответ на воздействие. Делеция *TP53* при сохранении функции *CDKN1A* не влияет на выживаемость клеток при воздействии экстракта *C. officinalis*, что указывает на p53-независимый и одновременно p21-зависимый путь гибели клеток.

Для линии HCT116 был проведен клоногенный анализ после облучения клеток дозой γ-излучения 1 Гр в присутствии двух различных концентраций экстракта *C. officinalis*, начиная с минимального нетоксичного разведения. При этом разница между сенсибилизирующими эффектами концентраций *C. officinalis* 127 мкг/мл и 264 мкг/мл оказалась незначительной (табл. 1), что может указывать на механизм насыщения либо пороговый эффект, при котором после преодоления порога значительное увеличение воздействия незначительно влияет на результат. Для исследования радиомодифицирующих свойств было выбрано разведение *C. officinalis*, не снижающее выживаемость клеток в клоногенном анализе при отсутствии облучения – 127 мкг/мл в пересчете на сухое вещество.

Для выбранной концентрации был проведен клоногенный анализ на линии HCT116 при сочетанном воздействии разных доз радиации и 127 мкг/мл *C. officinalis* (рис. 3). Для γ-облучения в дозе 1 Гр выживаемость колоний через 2 недели составила 96%, для γ-облучения в дозе 1 Гр в присутствии *C. officinalis* – 49%. Для γ-облучения в дозе 2 Гр выживаемость колоний составила 37%, в присутствии *C. officinalis* – 2%. Таким образом, при более высокой дозе облучения количество колоний снизилось в 18 раз. ФИД для линии клеток HCT116 составило 0.57 (что соответствует уменьшению необходимой дозы в 1.75 раз).

Также клоногенный анализ был проведен для линий HCT116 с делециями генов, кодирующих ключевые белки, запускающие программируемую клеточную гибель – p53 (рис. 4, 5) и p21 (рис. 6).

p53 – один из основных белков апоптотического каскада. Он активируется в ответ на

Таблица 1. Определение радиосенсибилизирующей эффективности экстракта *Calendula officinali*s в различных концентрациях
Table 1. Determination of radiosensitizing effectiveness of *Calendula officinali*s extract in different concentrations

Концентрация вещества Substance concentration	Дозы облучения Radiation doses	
	Без облучения No irradiation	1 Гр, 0,85 Гр/мин 1 Gy, 0.85 Gy/min
Без препарата Without substance	100 ± 2	96 ± 5
C. officinalis 127 мкг/мл *C. officinalis* 127 μg/ml	99 ± 2	49 ± 6
*C. officina*lis 264 мкг/мл *C. officinalis* 264 μg/ml	92 ± 2	47 ± 6

Примечание. Клоногенный анализ линии HCT116 при воздействии облучения в дозе 1 Гр с предварительной обработкой в течение 24 часов экстрактом *Calendula officinalis* в двух концентрациях. Показано процентное соотношение выживших колоний к количеству колоний в контроле без воздействий (100%).
Notes. Clonogenic analysis of the HCT116 line when exposed to radiation dose 1 Gy and pretreated for 24 hours with two concentrations of *Calendula officinalis*. The table represents the percentage of surviving colonies to the number of colonies in the untreated control group (100%).

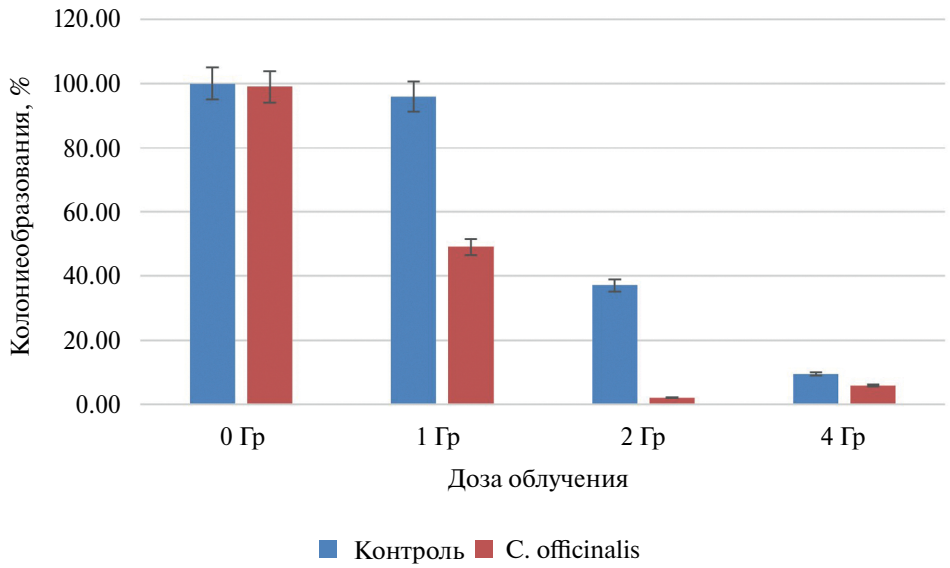


Рис. 3. Клоногенный анализ линии HCT116 при воздействии облучения в дозе 1, 2 и 4 Гр с предварительной обработкой в течение 24 ч 127 мкг/мл *Calendula officinalis*. Количество колоний в контроле без воздействий взято за 100%.
По горизонтали – доза облучения, *по вертикали* – колониеобразование, %.
Синий – контроль; красный – с предварительной обработкой C. officinalis.
Fig. 3. Clonogenic assay of HCT116 line when exposed to radiation doses of 1, 2 and 4 Gy with pre-treatment for 24 hours with 127 μg/ml *Calendula officinalis*. The number of colonies in untreated control sample was set as 100%.
X-axis – total radiation dose, *y-axis* – clonogenicity, %.
Blue – control; red – with *C. officinalis* pretreatment.

повреждение ДНК и приводит к остановке пролиферации клеток или апоптозу. То есть, у поврежденных клеток появляется возможность репарировать поврежденную ДНК, либо они удаляются из популяции. Установлено, что p53 необходим для апоптоза при повреждении клетки ионизирующим излучением, однако при апоптозе, вызванном глюкокортикоидами, и при старении он не требуется. p53 выполняет функцию супрессора образования злокачественных опухолей, поэтому в клинической практике его делеция часто связана с плохими прогнозами.

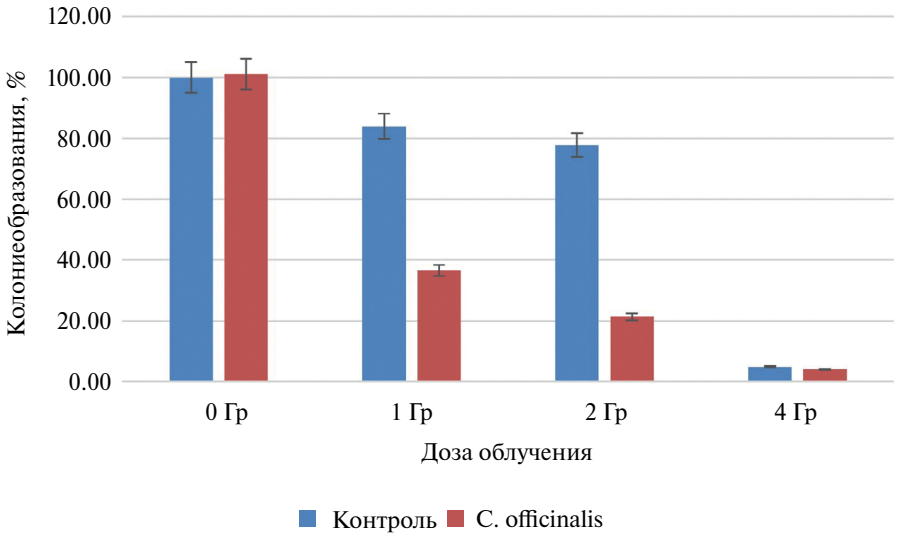


Рис. 4. Клоногенный анализ линии HCT116p53KO при воздействии облучения в дозе 1, 2 и 4 Гр с предварительной обработкой в течение 24 ч 127 мкг/мл *Calendula officinalis*. Количество колоний в контроле без воздействий взято за 100%.
По горизонтали – доза облучения, *по вертикали* – колониеобразование, %.
Синий – контроль; красный – с предварительной обработкой C. officinalis.
Fig. 4. Clonogenic assay of HCT116p53KO line exposed to radiation doses of 1, 2 and 4 Gy with pre-treatment for 24 hours with 127 μg/ml *Calendula officinalis*. The number of colonies in untreated control sample was set as 100%.
X-axis – total radiation dose, *y-axis* – clonogenicity, %.
Blue – control; red – with *C. officinalis* pretreatment.

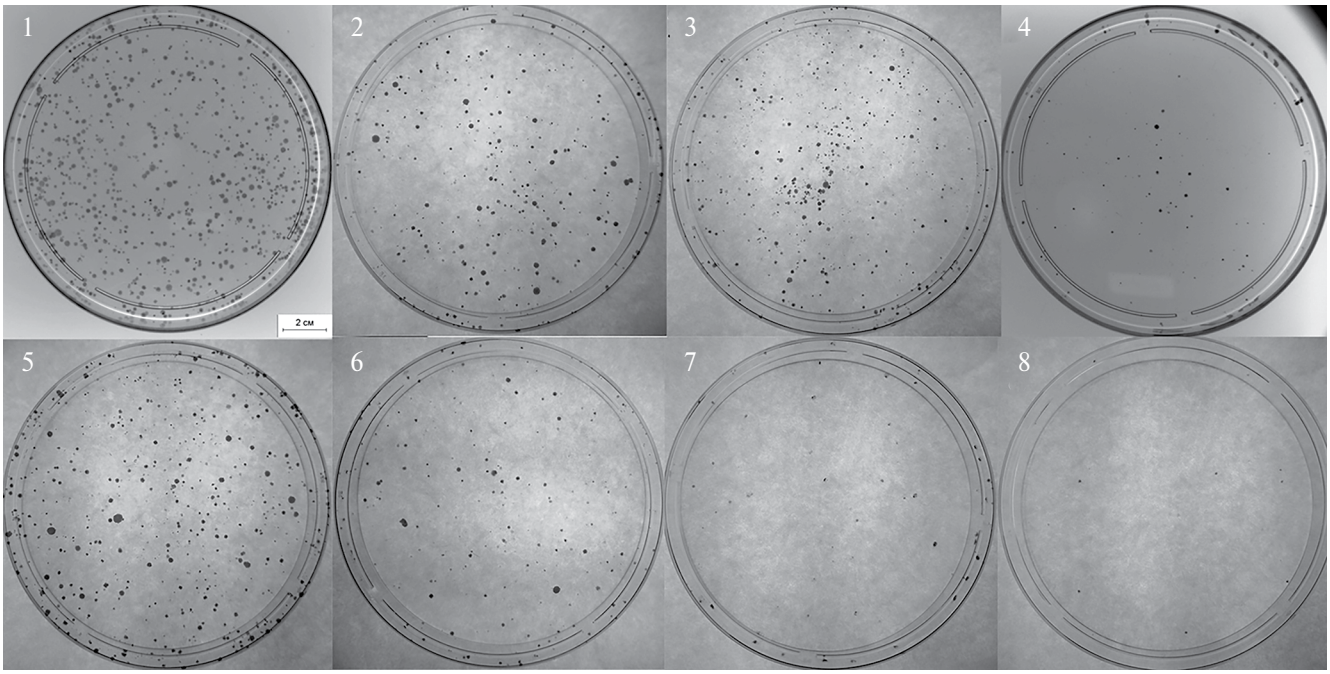


Рис. 5. Фото колоний линии HCT116p53KO. 1 – образец без воздействий, 2 – облучение в дозе 1 Гр, 3 – 2 Гр, 4 – 4 Гр, 5 – с предварительной обработкой в течение 24 ч 127 мкг/мл Calendula officinalis, 6 – 127 мкг/мл *Calendula officinalis* + облучение в дозе 1 Гр, 7 – 127 мкг/мл *Calendula officinalis* + облучение в дозе 2 Гр, 8 – 127 мкг/мл *Calendula officinalis* + облучение в дозе 4 Гр.
Fig. 5. Photos of colonies of HCT116p53KO cell line. 1 – a sample without exposure, 2 – irradiation at a dose of 1 Gy, 3 – 2 Gy, 4 – 4 Gy, 5 – with pretreatment for 24 hours 127 μg/ml *Calendula officinalis*, 6 – 127 μg/ml *Calendula officinalis* + irradiation at a dose of 1 Gy, 7 – 127 μg/ml *Calendula officinalis* + irradiation at a dose of 2 Gy, 8 – 127 μg/ml *Calendula officinalis* + irradiation at a dose of 4 Gy.

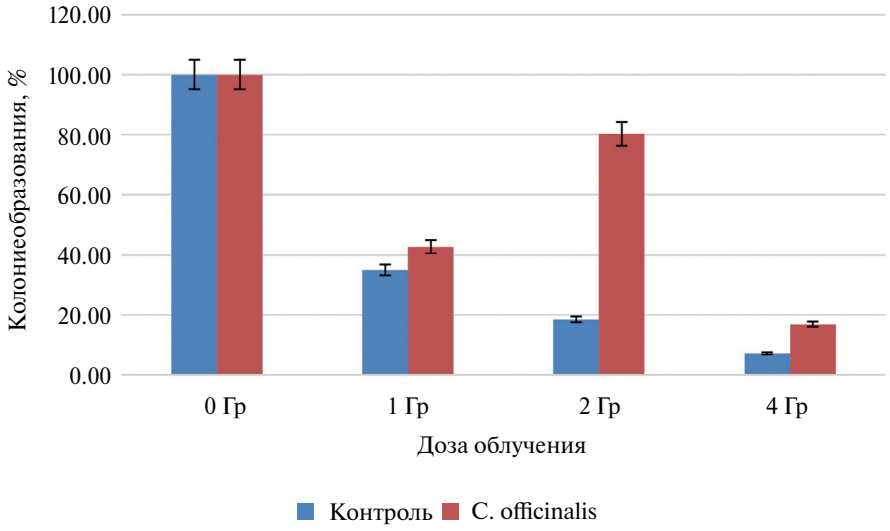


Рис. 6. Клоногенный анализ линии HCT116p21KO при воздействии облучения в дозе 1, 2 и 4 Гр с предварительной обработкой в течение 24 ч 127 мкг/мл *Calendula officinalis*. Количество колоний в контроле без воздействий взято за 100%.
По горизонтали – доза облучения, *по вертикали* – колониеобразование, %.
Синий – контроль; красный – с предварительной обработкой *C. officinalis*.
Fig. 6. Clonogenic assay of HCT116p21KO line exposed to radiation doses of 1, 2, and 4 Gy with pretreatment for 24 hours with 127 μg/ml *Calendula officinalis*. The number of colonies in untreated control sample was set as 100%.
X-axis – total radiation dose, *y-axis* – clonogenicity, %.
Blue – control; red – with *C. officinalis* pretreatment.

При этом мутации *TP53* (гена, кодирующего белок p53) в зависимости от вида опухоли могут встречаться в диапазоне от 5 до 90% случаев [20]. Преодоление устойчивости опухолей к терапии, вызванной нефункционирующим p53, является одной из важных задач поиска лекарственных средств.

Для культуры с делецией *TP53* (рис. 4, 5) ФИД составил 0.32 (что соответствует уменьшению необходимой дозы в 3,1 раза). Относительно культуры с p53 дикого типа, чувствительность культуры с делецией *TP53* выше в 1,7 раза, что делает *C. officinalis* перспективным компонентом радиотерапии опухолей независимо от их p53-статуса.

p21 – ингибитор клеточного цикла, реагирующий на повреждение ДНК и останавливающий клеточный цикл, как в G1, так и в G2 фазах, чтобы клетка могла репарировать ДНК. Активация p21 является важным ответом клетки на радиационные повреждения, при этом данные о функционале p21 противоречивы и сильно зависят от типа клеток [21], субклеточной локализации p21, его посттрансляционных изменений. Например, накопление p21 в цитоплазме опухолевых клеток способствует метастазированию и ухудшает клинический прогноз. p21 является одним из основных медиаторов остановки клеточного цикла, вызванной активацией p53, однако активация p21 в ответ на γ-облучение может происходить как по p53-зависимому, так и по p53-независимому пути – например, через NF-κB. Также p21 участвует в клеточном старении. В нашем исследовании ФИД по отношению к культуре опухолевых клеток с делецией *CDKN1A* (рис. 6) составляет 4 для дозы Гр и 2 для дозы 4 Гр, что указывает на p21 как на ключевой фактор гибели клеток в случае сочетанного действия γ-излучения и настойки *C. officinalis*. Клетки карциномы толстой кишки с делецией *CDKN1A* показали большую чувствительность к γ-излучению, чем клетки дикого типа и клетки с делецией *TP53*, однако настойка *C. officinalis* именно по отношению к этой линии клеток проявила себя как радиопротектор. Вероятно, *C. officinalis* активирует гибель клеток после облучения через p21-зависимый путь, а при неактивном p21 на первый план выходят антиоксидантные свойства настойки. Конкретный путь воздействия *C. officinalis* на раковые клетки, как самого по себе, так и в сочетании с γ-излучением, требует дальнейшего уточнения.

В эксперименте *in vivo C. officinalis* вводили в дозе 20 мг/кг подкожно в холку с последующим облучением. В предварительных экспериментах было использовано как подкожное, так и интратуморальное введение препарата (данные не приведены). Однако поскольку интратуморальное введение приводит к нарушению целостности опухоли и менее перспективно с точки зрения терапии, остановились на подкожном введении препарата.

Для фракционирования была использована локально подводимая суммарная доза γ-облучения 20 Гр с фракционированием по 4 Гр ежедневно.

Для этого эксперимента использовали 4 группы по 12 мышей; контрольная группа с интактным ростом опухоли, группа с препаратом без облучения, группа с облучением без препарата, группа с комбинированным воздействием препарата и облучения.

Эксперимент был начат, когда опухоли достигли среднего диаметра 0.8 см и устойчиво определялись пальпированием. Введение препарата проводили перед каждым облучением, между введением и облучением проходило не менее получаса.

Объем опухоли измеряли ежедневно и определяли торможение роста опухоли (ТРО) в процентах от объема опухоли контрольной группы. По итогам эксперимента определена средняя продолжительность жизни (СПЖ).

СПЖ для контрольной группы составила 23 дня, для группы с облучением 21 день, для группы с препаратом 21 день, с облучением и препаратом 30 дней. СПЖ для группы с облучением и препаратом статистически значимо (на уровне 0.05) отличалась от всех остальных, все остальные группы по СПЖ между собой статистически значимо (на том же уровне 0.05) не различались.

Максимальное ТРО наблюдалось через 5 дней после последнего облучения и составляло 57% в эксперименте с препаратом и 98% – для комбинации препарата и облучения (рис. 7). Мыши, у которых наблюдалась полная видимая редукция опухоли (4 мыши из 12 в группе), на 22 день после облучения были умерщвлены и препарированы. В легких и на месте прививки при препарировании и осмотре видимых очагов меланомы обнаружено не было (рис. 8).

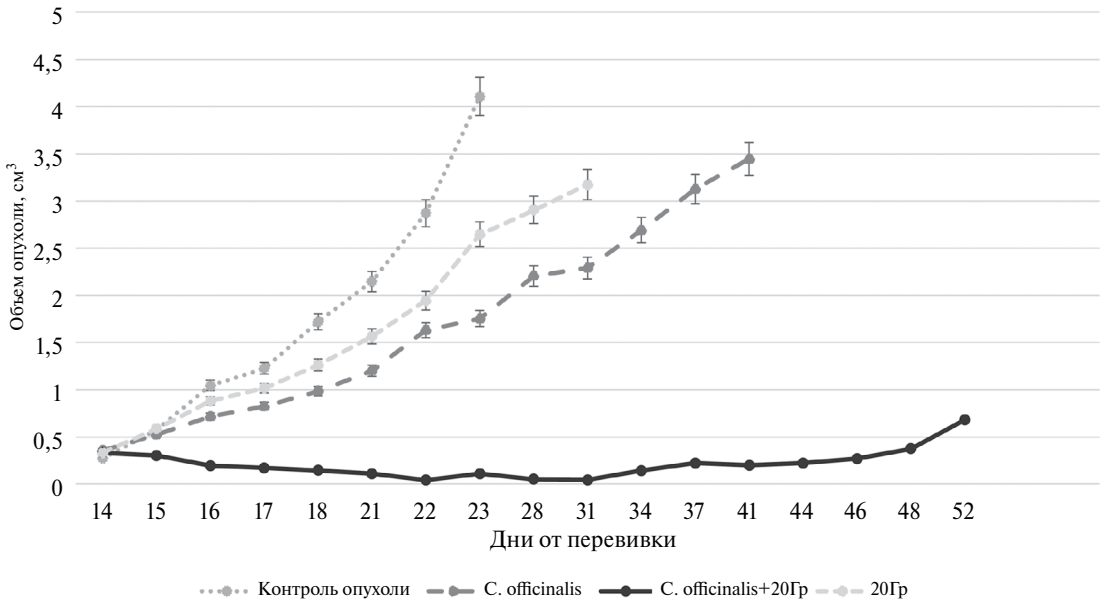


Рис. 7. Торможение роста перевиваемой меланомы мыши B16 при различных воздействиях.
По горизонтали – дни от перевивки, *по вертикали* – объем опухоли, см 3.
Слева направо: первая строка – контроль; вторая – календула лекарственная; третья – *C. officinalis* + 20 Гр; далее – 20 Гр.
Fig. 7. Inhibition of the growth of transplantable murine melanoma B16 under different conditions.
X-axis – days after grafting, *y-axis* – tumor volume, cm3.
Left to right: first line – control; second – *Calendula officinalis*; third – *C. officinalis* + 20 Gy; forth – 20 Gy.

ВЫВОДЫ

Впервые изучен водно-спиртовой настой календулы лекарственной *Calendula officinali*s L. (Asteraceae) как потенциальный радиосенсибилизатор для терапии злокачественных опухолей.

Показано:

1. *C. officinalis* является радиосенсибилизатором.

2. Водно-спиртовая настойка *C. officinalis* повышает эффективность облучения по отношению к линии клеток карциномы толстой кишки человека на 35–47%, что позволит снизить терапевтическую дозу в 1.7 раза.

3. Отсутствие значимой разницы в цитотоксичности по отношению к HCT116p53KO, по сравнению с HCT116 дикого типа, указывает на p53-независимый путь клеточной гибели при действии *C. officinalis*. Преимущества в выживании у клеток HCT116p21–/– при сохранном p53 указывают на p21-зависимый путь клеточной гибели. В присутствии *C. officinalis* значительно увеличивается ответ HCT116p53KO на радиационные повреждения, и снижается ответ HCT116p21–/–, что также указывает на p21 как на ключевой элемент, решающий судьбу клетки. Радиосенсибилизационные свойства C. officinalis и механизмы клеточной гибели, задействованные в этом процессе, требуют дальнейшего изучения.

C. officinalis хорошо показала себя по отношению к линии опухолевых клеток с деактивацией p53, являющейся одним из факторов устойчивости опухолей к терапии, а также на модели меланомы мышей *in vivo*. Поскольку *C. officinalis* является ранозаживляющим средством и средством, предупреждающим лучевые дерматиты, может быть целесообразно сочетать предобработку препаратом *C. officinalis* со стандартными схемами лечения опухолей при помощи радиотерапии, особенно в случае опухолей поверхностного расположения.

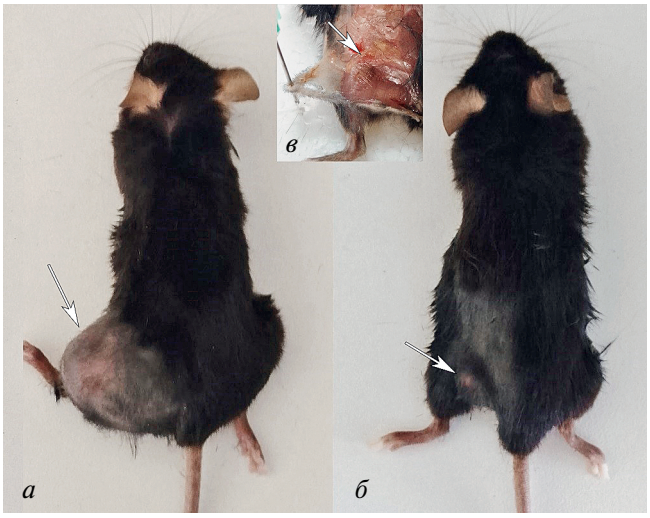


Рис. 8. А – контрольная опухоль на 18 день после перевивки, Б – через 31 день после перевивки, 22 дня после воздействия 20 Гр γ-излучения в сочетании с *Calendula officinalis*, В – место прививки опухоли через 22 дня после облучения в сочетании с *Calendula officinalis*.
Fig. 8. А – control tumor on day 18 after grafting, Б – 31 days after grafting, 22 days after exposure to 20 Gy of γ-radiation in combination with *Calendula officinalis* pre-treatment, В – site of tumor inoculation 22 days after irradiation in combination with *Calendula officinalis* pre-treatment.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Olennikov D.N., Kashchenko N.I.* 2022. Marigold metabolites: Diversity and separation methods of *Calendula* genus phytochemicals from 1891 to 2022. – Molecules. 27(23): 8626. https://doi.org/10.3390/molecules27238626
2. *Jadoon S., Karim S., Hassham M., Asad H.B., Akram M.R., Khan A.K, et al.* 2015. Antiaging potential of phytoextract loaded-pharmaceutical creams for human skin cell longetivity. – Oxid. Med. Cell. Longev. Article ID709628. https://doi.org/10.1155/2015/709628
3. *Nicolaus C., Junghanns S., Hartmann A., Murillo R., Ganzera M., Merfort I.* 2017. *In vitro* studies to evaluate the wound healing properties of *Calendula officinalis* extracts. – J. Ethnopharmacol. 196: 94–103. https://doi.org/10.1016/j.jep.2016.12.006
4. *Dinda M., Mazumdar S., Das S., Ganguly D., Dasgupta U.B., Dutta A., et al.* 2016. The water fraction of *Calendula officinalis* hydroethanol extract stimulates *in vitro* and *in vivo* proliferation of dermal fibroblasts in wound healing. – Phytother. Res. 30(10): 1696–1707. https://doi.org/10.1002/ptr.5678
5. *Preethi K.C., Kuttan G., Kuttan R.* 2009. Anti-inflammatory activity of flower extract of *Calendula officinalis Linn* and its possible mechanism of action. – Indian J. Exp. Biol. 47(2): 113–120. https://nopr.niscpr.res.in/handle/123456789/3072

6. *Preethi K.C., Kuttan R.* 2009. Hepato and reno protective action of *Calendula officnalis* L. flower extract. – Indian J. Exp. Biol. 47(3): 163–168.
https://nopr.niscpr.res.in/handle/123456789/3293

7. *Barajas-Farias L.M., Pérez-Carreón J.I., Arce-Popoca E., Fattel-Fazenda S., Alemán-Lazarini L., Hernández-García S., et al.* 2006. A dual and opposite effect of *Calendula officinalis* flower extract: chemoprotector and promoter in a rat hepatocarcinogenesis model. – Planta Med. 72(3): 217–21.
https://doi.org/10.1055/s-2005–916196

8. *Giostri G.S., Novak E.M., Marcelo Buzzi, Guarita-Souza L.C.* 2022. Treatment of acute wounds in hand with *Calendula officinalis* L.: A randomized trial. – Tissue Barriers. 10(3): 1994822.
https://doi.org/10.1080/21688370.2021.1994822

9. *Chandran P.K., Kuttan R.* 2008. Effect of *Calendula officinalis* flower extract on acute phase proteins, antioxidant defense mechanism and granuloma formation during thermal burns. – Clin. Biochem. Nutr. 43(2): 58–64.
https://doi.org/10.3164/jcbn.2008043

10. *Givol O., Kornhaber R., Visentin D., Cleary M., Haik J., Harats M.* 2019. A systematic review of *Calendula officinalis* extract for wound healing. – Wound Repair Regen. 27(5): 548–561.
https://doi.org/10.1111/wrr.12737

11. *Pommier P., Gomez F., Sunyach M.P., D'Hombres A., Carrie C., Montbarbon X.* 2004. Phase III randomized trial of *Calendula officinalis* compared with trolamine for the prevention of acute dermatitis during irradiation for breast cancer. – J. Clin. Oncol. 22(8): 1447–1453.
https://doi.org/10.1200/JCO.2004.07.063

12. *Simões F.V., Santos V.O., da Silva R.N., da Silva R.C.* 2020. Effectiveness of skin protectors and *Calendula officinalis* for prevention and treatment of radiodermatitis: an integrative review. – Rev. Bras. Enferm. 73(suppl 5): e20190815.
https://doi.org/10.1590/0034-7167-2019-0815

13. *Jiménez-Medina E., Garcia-Lora A., Paco L., Algarra I., Collado A., Garrido F.* 2006. A new extract of the plant *Calendula officinalis* produces a dual *in vitro* effect: cytotoxic anti–tumor activity and lymphocyte activation. – BMC Cancer. 6: 119.
https://doi.org/10.1186/1471-2407-6-119

14. *Preethi K.C., Siveen K.S., Kuttan R., Kuttan G.* 2010. Inhibition of metastasis of B16F-10 melanoma cells in C57BL/6 mice by an extract of *Calendula officnalis* L. flowers. – Asian Pac. J. Cancer Prev. 11(6): 1773–1779.
https://journal.waocp.org/article_25449.html

15. *Hormozi M., Gholami M., Babaniazi A., Gharravi A.M.* 2019. *Calendula officinalis* stimulate proliferation of mouse embryonic fibroblasts via expression of growth factors TGFβ1 and bFGF. – Inflamm. Regen. 39: 7.
https://doi.org/10.1186/s41232-019-0097-x

16. *Cordova C.A.S., Siqueira I.R., Netto C.A., Yunes R.A., Volpato A.M., Filho V.C., et al.* 2002. Protective properties of butanolic extract of the *Calendula officinalis L.* (marigold) against lipid peroxidation of rat liver microsomes and action as free radical scavenger. – Redox Rep. 7(2): 95–102.
https://doi.org/10.1179/135100002125000325

17. *Шишкина Л.Н., Мазалецкая Л.И., Смирнова А.Н., Швыдкий В.О.* 2021. Ингибирующая эффективность липидного компонента растительных объектов в зависимости от полярности элюента. – Биофизика. 66(3): 482–488.
https://doi.org/10.31857/S000630292103008X

18. *Цепалов В.Ф., Харитонова А.А., Гладышев Г.П., Эммануэль Н.М.* 1977. Определение констант скорости и коэффициентов ингибирования фенолов–антиоксидантов с помощью модельной цепной реакции. – Кинетика и катализ. 18(5): 1261–1267.

19. *Цепалов В.Ф., Шляпинтох В.Я.* 1962. Константы скорости элементарных реакций процесса окисления этилбензола молекулярным кислородом. – Кинетика и катализ. 6(3): 870–876.

20. *Donehower L.A., Soussi T., Korkut A., Liu Y., Schultz A., Cardenas M., et al.* 2019. Integrated Analysis of TP53 Gene and Pathway Alterations in The Cancer Genome Atlas. – Cell Rep. 28(5): 1370–1384.E5.
https://doi.org/10.1016/j.celrep.2019.07.001

21. *Kuang Y., Kang J., Li H., Liu B., Zhao X., Li L., et al.* 2021. Multiple functions of p21 in cancer radiotherapy. – J. Cancer Res. Clin. Oncol. 147(4): 987–1006.
https://doi.org/10.1007/s00432-021-03529-2

Calendula Officinalis (Asteraceae) As A Radiosensitizer In Radiotherapy Of Tumors

S. D. Koldman[1,]*, V. A. Koldman[2], A. V. Belousov[3], L. I. Mazaletskaya[4]

[1,2]*Lopukhin Federal Research and Clinical Center of Physical-Chemical Medicine of the Federal Medical Biological Agency, Moscow, Russia*

[3]*Burnazyan Federal Medical Biophysical Center of the Federal Medical Biological Agency, Moscow, Russia*

[4]*Emanuel Institute of Biochemical Physics of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

**e-mail: epistularum@yandex.ru*

Abstract – The effect of aqueous-alcoholic tincture of *Calendula officinalis* L. (Asteraceae) on tumor cells of different species and tissue origin was studied. Its potential as a radiosensitizer in combination with γ-radiation was determined. It has been established that *C. officinalis* tincture causes the death of tumor cells regardless of their p53 and p21 status. *C. officinalis* tincture has antioxidant properties, but for cells with active p21 it exhibits radiosensitizing rather than radioprotective properties. For cells lacking p21, *C. officinalis* tincture is a radioprotector, so the cell death is p21 mediated. A study of the radiosensitizing properties of *C. officinalis* was carried out on a mouse melanoma model *in vivo*. In combination with γ-radiation, it led to a significant inhibition of tumor growth (by 47%), as compared to irradiation only. The significant radiosensitizing effect and capability of overcoming the tumor cells resistance induced by p53 inactivation make *C. officinalis* tincture promising as an add-on to radiotherapy, allowing to reduce the effective radiation dose 1.7 times.

Keywords: radiotherapy, melanoma, plant radiosensitizers, *Calendula officinalis*

REFERENCES

1. *Olennikov D.N., Kashchenko N.I.* 2022. Marigold metabolites: Diversity and separation methods of *Calendula* genus phytochemicals from 1891 to 2022. – Molecules. 27(23): 8626. https://doi.org/10.3390/molecules27238626
2. *Jadoon S., Karim S., Hassham M., Asad H.B., Akram M.R., Khan A.K., Malik A., Chen C., Murtaza G.* 2015. Anti-aging potential of phytoextract loaded-pharmaceutical creams for human skin cell longetivity. – Oxid. Med. Cell. Longev. Article ID709628. https://doi.org/10.1155/2015/709628
3. *Nicolaus C., Junghanns S., Hartmann A., Murillo R., Ganzera M., Merfort I.* 2017. *In vitro* studies to evaluate the wound healing properties of *Calendula officinalis* extracts. – J. Ethnopharmacol. 196: 94–103. https://doi.org/10.1016/j.jep.2016.12.006
4. *Dinda M., Mazumdar S., Das S., Ganguly D., Dasgupta U.B., Dutta A., et al.* 2016. The water fraction of *Calendula officinalis* hydroethanol extract stimulates *in vitro* and *in vivo* proliferation of dermal fibroblasts in wound healing. – Phytother. Res. 30(10): 1696–1707. https://doi.org/10.1002/ptr.5678
5. *Preethi K.C., Kuttan G., Kuttan R.* 2009. Anti-inflammatory activity of flower extract of *Calendula officinalis Linn* and its possible mechanism of action. – Indian J. Exp. Biol. 47(2): 113–120. https://nopr.niscpr.res.in/handle/123456789/3072
6. *Preethi K.C., Kuttan R.* 2009. Hepato and reno protective action of *Calendula officnalis* L. flower extract. – Indian J. Exp. Biol. 47(3): 163–168. https://nopr.niscpr.res.in/handle/123456789/3293
7. *Barajas-Farias L.M., Pérez-Carreón J.I., Arce-Popoca E., Fattel-Fazenda S., Alemán-Lazarini L., Hernández-García S., et al.* 2006. A dual and opposite effect of *Calendula officinalis* flower extract: chemoprotector and promoter in a rat hepatocarcinogenesis model. – Planta Med. 72(3): 217–21. https://doi.org/10.1055/s-2005–916196
8. *Giostri G.S., Novak E.M., Marcelo Buzzi, Guarita-Souza L.C.* 2022. Treatment of acute wounds in hand with *Calendula officinalis* L.: A randomized trial. – Tissue Barriers. 10(3): 1994822. https://doi.org/10.1080/21688370.2021.1994822
9. *Chandran P.K., Kuttan R.* 2008. Effect of *Calendula officinalis* flower extract on acute phase proteins, antioxidant defense mechanism and granuloma formation during thermal burns. – Clin. Biochem. Nutr. 43(2): 58–64. https://doi.org/10.3164/jcbn.2008043

10. *Givol O., Kornhaber R., Visentin D., Cleary M., Haik J., Harats M.* 2019. A systematic review of *Calendula officinalis* extract for wound healing. – Wound Repair Regen. 27(5): 548–561. https://doi.org/10.1111/wrr.12737

11. *Pommier P., Gomez F., Sunyach M.P., D'Hombres A., Carrie C., Montbarbon X.* 2004. Phase III randomized trial of *Calendula officinalis* compared with trolamine for the prevention of acute dermatitis during irradiation for breast cancer. – J. Clin. Oncol. 22(8): 1447–1453. https://doi.org/10.1200/JCO.2004.07.063

12. *Simões F.V., Santos V.O., da Silva R.N., da Silva R.C.* 2020. Effectiveness of skin protectors and *Calendula officinalis* for prevention and treatment of radiodermatitis: an integrative review. – Rev. Bras. Enferm. 73(suppl 5): e20190815. https://doi.org/10.1590/0034-7167-2019-0815

13. *Jiménez-Medina E., Garcia-Lora A., Paco L., Algarra I., Collado A., Garrido F.* 2006. A new extract of the plant *Calendula officinalis* produces a dual *in vitro* effect: cytotoxic anti–tumor activity and lymphocyte activation. – BMC Cancer. 6: 119. https://doi.org/10.1186/1471-2407-6-119

14. *Preethi K.C., Siveen K.S., Kuttan R., Kuttan G.* 2010. Inhibition of metastasis of B16F-10 melanoma cells in C57BL/6 mice by an extract of *Calendula officnalis* L. flowers. – Asian Pac. J. Cancer Prev. 11(6): 1773–1779. https://journal.waocp.org/article_25449.html

15. *Hormozi M., Gholami M., Babaniazi A., Gharravi A.M.* 2019. *Calendula officinalis* stimulate proliferation of mouse embryonic fibroblasts via expression of growth factors TGFβ1 and bFGF. – Inflamm. Regen. 39: 7. https://doi.org/10.1186/s41232-019-0097-x

16. *Cordova C.A.S., Siqueira I.R., Netto C.A., Yunes R.A., Volpato A.M., Filho V.C., et al.* 2002. Protective properties of butanolic extract of the *Calendula officinalis L.* (marigold) against lipid peroxidation of rat liver microsomes and action as free radical scavenger. – Redox Rep. 7(2): 95–102. https://doi.org/10.1179/135100002125000325

17. *Shishkina L.N., Mazaletskaya L.I., Smirnova A.N., Shvydkiy V.O.* 2021. Inhibitory efficiency of the lipid component of plant objects depending on the polarity of the eluent. – Biophysics. 66(3): 409–414. https://doi.org/10.1134/S0006350921030179

18. *Tsepalov V.F., Kharitonova A.A., Gladyshev G.P., Emanuel, N.M.* 1977. Determination of rate constants and inhibition coefficients of phenol antioxidants with aid of model chain reactions. – Kinet. Catal. 18(5): 1034–1039.

19. *Tsepalov V.F., Shlyapintokh V. Ya.* 1962. [Rate constants for elementary reactions in the oxidation of ethylbenzene with molecular oxygen]. – Kinetika i Kataliz. 3(6): 870–876. (In Russian)

20. *Donehower L.A., Soussi T., Korkut A., Liu Y., Schultz A., Cardenas M., et al.* 2019. Integrated Analysis of TP53 Gene and Pathway Alterations in The Cancer Genome Atlas. – Cell Rep. 28(5): 1370–1384.E5. https://doi.org/10.1016/j.celrep.2019.07.001

21. *Kuang Y., Kang J., Li H., Liu B., Zhao X., Li L., et al.* 2021. Multiple functions of p21 in cancer radiotherapy. – J. Cancer Res. Clin. Oncol. 147(4): 987–1006. https://doi.org/10.1007/s00432-021-03529-2