

ISSN 0033-9946

Том 59, Выпуск 3

Июль - Сентябрь 2023



РАСТИТЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ

www.sciencejournals.ru



СОДЕРЖАНИЕ

Том 59, вып. 3, 2023

ОБЗОРЫ

Препараты из *Sorbus aucuparia* (Rosaceae) в экспериментальной терапии злокачественных новообразований: открывающиеся возможности

О. Ю. Рыбалкина, Т. Г. Разина, Е. П. Зуева, Е. Н. Амосова,
Г. И. Калинкина, М. Ю. Минакова, В. В. Жданов

217

Компонентный состав и некоторые особенности биологической активности *Viscum album* (Viscaceae)

С. Л. Аджиахметова, Н. М. Червонная, Д. И. Поздняков,
О. И. Попова, Э. Т. Оганесян

228

СТАТЬИ И СООБЩЕНИЯ

Ресурсы полезных растений и растительных сообществ

Запасы сырья видов рода *Onobrychis* (Fabaceae) в Азербайджанской Республике

Д. И. Исаев, Ш. Б. Джафарова, Н. Г. Мамедова

249

Биология ресурсных видов

Введение в культуру *in vitro* *Lespedeza davurica* (Fabaceae)

Т. Е. Лончакова, А. С. Пянова, К. С. Бердасова

257

Структура популяций растений

Состояние ценопопуляций *Limonium gmelinii* (Plumbaginaceae) в Республике Хакасия

И. Н. Барсукова, В. А. Черемушкина

262

Антропогенное воздействие на растительные ресурсы

Состояние и устойчивость лесов региона с экстремальной антропогенной трансформацией (на примере Окского бассейна)

Э. Г. Коломыц, Л. С. Шарая, С. М. Севостьянов

277

Компонентный состав ресурсных видов

Фитохимическая характеристика и антимикробные свойства экстрактов *Nonea rossica* (Boraginaceae)

В. В. Величко, М. Е. Карташова, С. Д. Кучерова, Д. С. Круглов,
Л. Г. Бурова, А. Н. Евстропов

297

Полисахариды растений *Crotalaria alata* и *Gleditsia triacanthos* в качестве компонентов питательной среды для культивирования микроскопических грибов

Р. П. Закирова, Ф. Кодиралиева, А. М. Хван, Р. К. Рахманбердыева

306

Бадракемин и остол в корнях *Ferula persica* (Apiaceae), произрастающей в Азербайджанской Республике

Э. Г. Керимли, С. Дж. Ибадуллаева, А. Н. Алескерова

314

Phytochemical Features of *Malabaila dasyantha* (Apiaceae) Aerial Parts

Husniya Mammadova Gara

321

Contents

Vol. 59, issue 3, 2023

REVIEWS

Preparations from *Sorbus aucuparia* (Rosaceae) in Experimental Therapy of Malignant Neoplasms: Emerging Opportunities

O. Yu. Rybalkina, T. G. Razina, E. P. Zueva, E. N. Amosova, G. I. Kalinkina, M. Yu. Minakova, V. V. Zhdanov

217

Component Composition and Some Features of the Biological Activity of *Viscum album* (Viscaceae)

S. L. Adzhiakhmetova, N. M. Chervonnaya, D. I. Pozdnyakov, O. I. Popova, E. T. Oganisyan

228

ARTICLES AND COMMUNICATIONS Resources of Useful Plants and Plant Communities

Stocks of *Onobrychis* (Fabaceae) Raw Materials in the Republic of Azerbaijan

J. I. Isaev, Sh. B. Jafarova, N. H. Mammadova

249

Biology of Resource Species

In Vitro Introduction of *Lespedeza davurica* (Fabaceae)

T. E. Lonchakova, A. S. Pianova, K. S. Berdasova

257

Structure of Plant Populations

State of *Limonium gmelinii* (Plumbaginaceae) Coenopopulations in the Republic of Khakassia

I. N. Barsukova, V. A. Cheryomushkina

262

Anthropogenic Effect on Plant Resources

State and Stability of Forest Ecosystems of the Region with Extreme Anthropogenic Transformation (Evidence from the Oka River Basin)

E. G. Kolomyts, L. S. Sharaya, S. M. Sevostianov

277

Component Composition of Resource Species

Phytochemical Characteristics and Antimicrobial Effects of *Nonea rossica* (Boraginaceae) Extracts

V. V. Velichko, M. E. Kartashova, S. D. Kucheroval, D. S. Kruglov, L. G. Burova, A. N. Evstropov

297

Polysaccharides of *Crotalaria alata* and *Gleditsia triacanthos* as Components of a Growth Medium for Cultivation of Microfungi

R. P. Zakirova, F. Kodiralieva, A. M. Hwan, R. K. Rakhmanberdieva

306

Badrakemin and Ostol in the Roots of *Ferula persica* (Apiaceae) Growing in Azerbaijan

E. G. Kerimli, S. J. Ibadullayeva, A. N. Aleskerova

314

Phytochemical Features of *Malabaila dasyantha* (Apiaceae) Aerial Parts

Husniya Mammadova Gara

321

ПРЕПАРАТЫ ИЗ *SORBUS AUCUPARIA* (ROSACEAE) В ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ТЕРАПИИ ЗЛОКАЧЕСТВЕННЫХ НОВООБРАЗОВАНИЙ: ОТКРЫВАЮЩИЕСЯ ВОЗМОЖНОСТИ

© 2023 г. О. Ю. Рыбалкина^{1,2, *}, Т. Г. Разина¹, Е. П. Зуева¹, Е. Н. Амосова¹, Г. И. Калинкина²,
М. Ю. Минакова¹, В. В. Жданов¹

¹Томский национальный исследовательский медицинский центр РАН, Научно-исследовательский институт фармакологии и регенеративной медицины им. Е.Д. Гольдберга, г. Томск, Россия

²Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования “Сибирский государственный медицинский университет”, г. Томск, Россия

*e-mail: olgatomsk87@gmail.com

Поступила в редакцию 31.03.2023 г.

После доработки 03.04.2023 г.

Принята к публикации 03.05.2023 г.

В обзоре представлены сведения из литературных источников и собственные данные о некоторых фармакологических свойствах *Sorbus aucuparia* L. (Rosaceae). Особое внимание уделено исследованиям в области экспериментальной онкологии.

Ключевые слова: *Sorbus aucuparia*, антоцианы, флавоноиды, экспериментальная онкология, цитостатическая терапия

DOI: 10.31857/S0033994623030111, **EDN:** RKGE0E

Несмотря на достижения в области разработки и внедрения в клиническую практику синтетических средств, препараты из природных источников продолжают завоевывать свою нишу в лечении различных заболеваний благодаря широкому спектру фармакологических эффектов. С каждым годом на мировом фармацевтическом рынке возрастает количество препаратов, производимых из комплексного растительного сырья и из отдельных выделенных биологически активных соединений. Не ослабевает внимание специалистов-онкологов и фармакологов к поиску новых высокоэффективных средств с противоопухолевой, антиметастатической активностью с улучшенным профилем безопасности. Одним из подходов к решению проблемы повышения эффективности цитостатической терапии и снижения ее токсичности является использование в схемах лечения природных соединений, которые в большинстве случаев могут сочетать в себе высокую антипролиферативную активность по отношению к опухолевым клеткам и низкую токсичность для нормальных клеток [1]. Исследованиями многих научных коллективов установлены противоопухолевые, антиметастатические свойства, показана возможность использования в комплексной терапии злокачественных новообразований флавоноидов, алкалоидов, гликозидов, полисахаридов. Настоящий обзор призван обратить

внимание на рябину обыкновенную (*Sorbus aucuparia* L.) — представителя семейства Розовых (Rosaceae), как потенциальный источник веществ для создания препаратов, используемых в онкологии [2].

ХИМИЧЕСКИЕ КОМПОНЕНТЫ СЫРЬЯ РЯБИНЫ

Рябина обыкновенная — листопадное дерево высотой до 20 м, реже кустарник с неплотной кроной и гладкой серой корой. Цветет рябина в мае–июне. Плоды созревают в августе–сентябре и остаются на дереве до глубокой зимы [3]. Рябина обыкновенная широко распространенный вид [4, 5]. Одно растение может дать до 80–100 кг плодов, в которых содержатся макро- и микроэлементы, витамины, дубильные вещества, полифенолы, фосфолипиды и полисахариды [6–8]. Сырье “Рябины обыкновенной плоды” включено в Государственную фармакопею Российской Федерации XIV издания (ФС.2.5.0093.18).

Макро- и микроэлементы. Рябина обыкновенная содержит 8 основных минералов (в мг/100 г): калий — 154.0; фосфор — 12.3; кальций — 29.9; магний — 27.84; железо — 2.42; медь — 0.294; цинк — 0.861; марганец — 0.503 [9].

Витамины. В основном рябина содержит следующие витамины: аскорбиновая кислота, витамины Е и А. Согласно данным Z.O. Mrkonjić с соавт. (2017), в *S. aucuparia* содержится приблизительно 0.1 мг/г (сухой вес) аскорбиновой кислоты [10]. Содержание витамина Е в рябине в пересчете на α -токоферол, δ -токоферол и γ -токоферол составляет соответственно 4.89, 0.58, 1.71 мкг/г сух. массы [11]. Витамин А в плодах *S. aucuparia* представлен его предшественником – β -каротином. Показано, что плоды рябины содержат 2.5 мг/100 г общих каротиноидов [12]. Гостищев И.А. и др. [13] установили, что в плодах, выращенных в условиях Белгорода, содержание общих каротиноидов (в пересчете на β -каротин) составляет 17.8 мг/100 г.

Дубильные вещества. Содержание дубильных веществ в плодах рябины обыкновенной составляет 2.29%. Следует учесть, что процент содержания этих веществ зависит от места произрастания растений [14].

Фосфолипиды. В маслах семян *S. aucuparia* сумма линолевой и олеиновой кислот превышает 90% от общего количества жирных кислот [15].

Полисахариды. Суммарный выход полисахаридов из плодов рябины обыкновенной составляет 4.2%. Показано, что в их состав в качестве основного компонента входят остатки галактуроновой кислоты. В составе водорастворимых полисахаридов плодов рябины обыкновенной обнаружены нейтральные моносахариды: арабиноза, галактоза, глюкоза, ксилоза, рамноза, манноза [6].

Полифенолы. Рябина обыкновенная является одним из самых богатых источников полифенолов среди других растений и отличается высоким содержанием процианидинов, антоцианидинов, фенольных кислот и флавоноидов [7].

Основными фенольными кислотами, входящими в состав рябины обыкновенной, являются хлорогеновые, состоящие в основном из двух изомеров (3- и 5-кофеоилхинных кислот). Их общее содержание составляет 26.1 мг/100 г [15]. Известно, что кофеоилхинные кислоты составляют 56–80% от общего количества фенолов, при этом плоды культивируемых растений содержат меньше кофеоилхинных кислот, чем плоды дикой рябины [16].

В качестве основных флавоноидов в образцах плодов, листьев и соцветий рябины обыкновенной обнаружены кверцетин, кемпферол, изокверцетин, рутин, гиперозид и изорафнетин. Кверцетин является преобладающим флавоноидом в соцветиях и листьях *S. aucuparia* (1.11% сух. массы) [17, 18]. Количество кверцетина в плодах рябины – 0.51 мг/г [19].

Содержание антоцианов в плодах рябины обыкновенной составляет 13.6 мг/100 г свежих плодов, причем основными компонентами явля-

ются производные цианидина: 3-*O*-галактозида, 3-*O*-глюкозида, 3-*O*-арабинозида [20, 21].

ВОЗМОЖНЫЕ МЕХАНИЗМЫ ПРОТИВООПУХОЛЕВОГО ДЕЙСТВИЯ ПОЛИФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

В связи с широким спектром биологически активных веществ (БАВ), для части из которых известны свойства ингибировать развитие опухолей, это растение представляет большой интерес в качестве объекта исследования в экспериментальной онкологии с целью создания на его основе средств для дополнительной терапии пациентов со злокачественными новообразованиями.

Многочисленные исследования продемонстрировали противоопухолевую активность *S. aucuparia*. Так, использование этанольного экстракта из рябины оказывает значительное цитотоксическое действие в отношении клеток аденокарциномы толстого кишечника Сасо-2. Выявлено, что водный экстракт, полученный из *S. aucuparia*, дозозависимо снижает жизнеспособность клеток Сасо-2 в МТТ-тесте при концентрациях >100 мкг/мл, тогда как в тесте SRB на сульфатредуцирующих бактериях такой же эффект можно наблюдать при концентрациях >500 мкг/мл [22]. Показано, что богатый полифенолами экстракт рябины снижает жизнеспособность клеток HeLa, полученных из опухоли шейки матки, примерно до 50% [23]. В экспериментах на мышах-самках линии C57BL/6 с карциномой легких Льюис выявлено уменьшение массы первичной опухоли под влиянием фенолсодержащих комплексов плодов и листьев *S. aucuparia*, вводимых в дозах 1 и 5 мл/кг: торможение роста опухоли составило 12–27% [24].

Механизмом, приводящим к ингибции роста опухолевых клеток, является нарушение их пролиферации и запуск апоптоза под действием БАВ, содержащихся в рябине. Так, фенольные соединения *S. aucuparia* способны модулировать многочисленные клеточные процессы путем повышения или понижения уровня ключевых белков, участвующих в клеточных сигнальных путях, которые контролируют пролиферацию, дифференцировку и апоптоз, что может обуславливать их противоопухолевый эффект [25, 26].

Снижение клеточной пролиферации обычно является результатом остановки клеточного цикла. Контроль клеточного цикла регулируется взаимодействиями между циклинами А, В и циклинзависимыми киназами (CDK), которые, в свою очередь, контролируются ингибиторами CDK (CDKIs), такими как p21, WAF1 и p27KIP1. Связывание циклинов с CDK приводит к образованию активного комплекса, который способствует прохождению клеточного цикла через различные стадии. CDKIs могут связываться с этим ком-

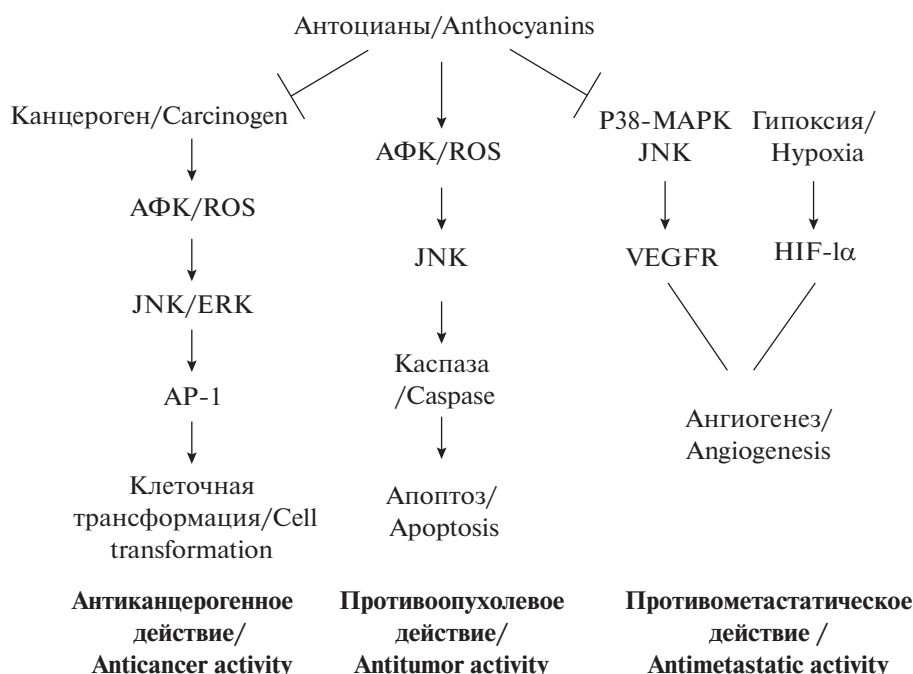


Рис. 1. Схема механизмов антиканцерогенного, противоопухолевого и противометастатического действия антоцианов. Примечание: АФК – активные формы кислорода; AP-1 – белок активатор 1; ERK – внеклеточная сигнально-регулируемая киназа; JNK – c-Jun NH2-концевая киназа; P38MAPK – p38 митоген-активируемая протеинкиназа; VEGFR – рецептор фактора роста эндотелия сосудов; HIF-1α – фактор, индуцируемый гипоксией 1-альфа; ↓ – активация; ⊥ – блокировка (по данным анализируемых литературных источников) [32, 38, 40].

Fig. 1. Scheme of the anticarcinogenic, antitumor and antimetastatic action of anthocyanins. Note: Канцероген – carcinogene; АФК – reactive oxygen species; AP-1 – protein activator 1; ERK – extracellular signal-regulated kinase; JNK – c-Jun NH2-terminal kinase; P38MAPK – p38 mitogen-activated protein kinases; Клеточная трансформация – cell transformation; Каспаза – caspase; Апоптоз – apoptosis; VEGFR, vascular endothelial growth factor receptor; гипоксия – hypoxia; HIF-1α – hypoxia inducible factor 1-alpha; Ангиогенез – angiogenesis; Антиканцерогенное действие – anticancer activity; Противоопухолевое действие – antitumor activity; Противометастатическое действие – antimetastatic activity; ↓ – activation; ⊥ – blocking (according to the analyzed literary sources) [32, 38, 40].

плексом и дезактивировать его, тем самым останавливая клеточный цикл. Известно, что фенольные соединения вызывают повышенную экспрессию генов p21WAF1 и p27KIP1, а также снижают экспрессию генов циклина А и В, что приводит к снижению пролиферации и остановке клеточного цикла опухолевых клеток в G0/G1 и G2/S фазах [27]. Антоцианиды также способны регулировать клеточный цикл. Так, использование этих веществ прерывает клеточный цикл в G1 или G2 фазах, что может способствовать индукции апоптоза и ингибции пролиферации [28].

Блокирование клеточной дифференцировки является одним из важных свойств неопластических клеток. Индукция дифференцировки опухолевых клеток представляет собой явление, при котором злокачественные трансформируются в нормальные и зрелые клетки под действием индукторов дифференцировки [29]. Природные антоцианы могут индуцировать терминальное созревание опухолевых клеток и блокировать онкогенез. Показано, что цианидин-3-О-β-глюкопиранозид может индуцировать дифференцировку клеточной

линии острого промиелоцитарного лейкоза человека HL-60 дозозависимым образом, активируя PI3K и PKC сигнальные пути [30].

Антоцианидиновые гликозиды (антоцианины), такие как дельфинидиновые и цианидиновые гликозиды, также индуцируют апоптоз в клетках HL-60 [31]. При исследовании соотношения “структура–активность” показано, что гидроксильные группы в кольце В придают молекуле антоцианидина более высокую проапоптотическую активность [32].

Основным механизмом действия антоцианов, выделенных из рябины обыкновенной, приводящим к запуску апоптоза опухолевых клеток, может быть влияние на окислительный JNK-опосредованный каспазный путь. Использование антоцианов может приводить к повышению уровня внутриклеточных активных форм кислорода, которые могут быть сенсором для активации JNK-пути, что приводит к экспрессии гена c-jun и активации каспазы-3. Таким образом, антоцианы могут запускать программу апоптотической смерти в опухоле-

вых клетках через опосредованные окислительным стрессом сигнальные каскады JNK [32] (рис. 1).

Белок-активатор 1 (AP-1) является фактором транскрипции и играет важную роль в стимулировании канцерогенеза [33]. Известно, что индукторами активности AP-1 могут быть эпидермальный фактор роста (EGF) и фактор некроза опухоли (TNF) альфа, которые активируют внеклеточную киназу, регулируемую сигналом (ERK), JNK или киназу p38. В результате включения AP-1 запускается неопластическая трансформация клеток путем активации MAPK [31]. В работе D.X. Ноу с соавт. [34] показано, что антоцианы ингибируют транскрипционную активность AP-1 и клеточную трансформацию. Кроме того, авторами при изучении структурной активности данных БАВ выявлено, что для ингибирующего действия необходима орто-дигидроксифенильная структура на В-кольце антоцианидинов. Результаты анализа передачи клеточного сигнала показали, что антоцианы блокируют фосфорилирование ERK в ранние сроки и фосфорилирование JNK — в более поздние сроки [34], блокируют фосфорилирование киназы MAPK/ERK (MEK, киназа ERK), киназы SAPK/ERK (SEK, киназа JNK) и c-Jun (мишень фосфорилирования ERK и JNK) (рис. 1).

Помимо опухолевого роста, фенольные соединения, содержащиеся в рябине обыкновенной, могут ингибировать процесс инвазии и метастазирования опухолей. Так, при введении мышам с карциномой легких Льюис растительного комплекса плодов рябины в дозе 1 мл/кг количество метастазов в легких и их площадь оказались меньше в 1.8 и 3.3 раза при сравнении с показателями в группе нелеченых животных. При использовании фенолсодержащего комплекса цветков *S. aucuparia* число метастатических узлов достоверно снизилось в 2.4 (1 мл/кг) и 2.2 (5 мл/кг) раза, при этом площадь метастатического поражения уменьшилась в 5.8 и 3.6 раза соответственно. Экстракт листьев в дозе 5 мл/кг оказывал тормозящее влияние на развитие метастазов, уменьшая их количество (в 2.3 раза) и площадь (в 6.8 раза) по сравнению с показателями у мышей контрольной группы [24].

Ангиогенез является основным процессом, способствующим росту и метастазированию злокачественных новообразований. Процесс ангиогенеза контролируется многими цитокинами, из которых наиболее важным регуляторным фактором является фактор роста эндотелия сосудов VEGF. Следовательно, ингибирование рецептора ангиогенеза VEGF (VEGFR) может эффективно угнетать метастазирование опухолей [35, 36]. Известно, что фенольные соединения, в частности антоцианы способны ингибировать экспрессию

VEGF в гладкомышечных клетках сосудов путем блокирования путей p38-MAPK и JNK [37] (рис. 1).

Гипоксия является общей патофизиологической характеристикой солидных злокачественных новообразований, способствующей индукции ангиогенеза в опухоли. Этот процесс в основном осуществляется при участии сигнального пути VEGF, опосредованного индуцируемым гипоксией фактором-1 α (HIF-1 α). Таким образом, ингибирование уровня белка HIF-1 α может привести к снижению транскрипционной активности генов-мишеней HIF-1 α , включая VEGF [38]. В экспериментах на крысах с индуцированным раком пищевода показано, что использование лиофилизированных антоцианов снижает экспрессию HIF-1 α и VEGF и, следовательно, приводит к ингибированию ангиогенеза в опухоли [39] (рис. 1).

Инвазия и метастазирование являются главными проявлениями прогрессии опухоли, характерными для злокачественных новообразований, которые угрожают здоровью и жизни пациентов. Показано, что фенольные соединения могут эффективно ингибировать инвазию и метастазирование клеток рака молочной железы (BT474, MDA-MB231 и MCF-7) с высокой экспрессией ErbB2 путем блокирования пути ErbB2/cSrc/FAK [40, 41]. Обнаружено, что антоцианы могут снижать мембранную транслокацию PKC α и фосфорилирование STAT3 в клеточных линиях MCF-10 A, опосредованное фактором роста гепатоцитов, ингибировать ядерную транслокацию NF- κ B/p65 и, таким образом, ингибировать инвазию клеток [35].

В табл. 1 представлены обобщенные данные о влиянии извлечений из *S. aucuparia* на пролиферацию опухолевых клеток *in vitro* и развитие перевиваемых опухолей *in vivo*.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ О ВЛИЯНИИ РАСТИТЕЛЬНЫХ ЭКСТРАКТОВ ИЗ *S. AUCUPARIA* НА РАЗВИТИЕ ПЕРЕВИВАЕМЫХ ОПУХОЛЕЙ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЦИТОСТАТИЧЕСКОЙ ТЕРАПИИ

В НИИФиРМ им. Е.Д. Гольдберга Томского НИМЦ выполнен цикл работ по исследованию комбинированного использования рябины обыкновенной совместно с цитостатическими препаратами с целью создания на ее основе средств для повышения эффективности и/или снижения токсического действия цитостатиков. Опубликованы данные результатов изучения химического состава фенолсодержащих комплексов из плодов, листьев, а также цветков *S. aucuparia*, полученных на кафедре фармацевтического анализа ФГБОУ ВО “Сибирский государственный медицинский университет” (г. Томск). Экстракты по-

Таблица 1. Влияние извлечений из *Sorbus aucuparia* L. на пролиферацию опухолевых клеток *in vitro* и развитие перевиваемых опухолей *in vivo***Table 1.** The effect of extracts from *Sorbus aucuparia* L. on the proliferation of tumor cells *in vitro* and the development of passaged tumors *in vivo*

Вид извлечения Type of extraction	Линия опухолевых клеток или штамм перевиваемой опухоли Tumor cell line or strain of the passaged tumor	Примечание Note	Ссылка на литературу Reference
Водный экстракт Water extract	Caco-2	Дозозависимое цитотоксическое действие Dose-dependent cytotoxic effect	23
Этанольный экстракт, обогащенный полифенолами Ethanol extract enriched with polyphenols	Hela	Снижение жизнеспособности клеток Reduction of cell viability	24
Этанольный экстракт Ethanol extract	LLC	Противоопухолевое, антиметастатическое действие, повышение противометастатического действия циклофосфана Antitumor, antimetastatic effect, increased anti-metastatic effect of cyclophosphane	25
Антоцианы Anthocyanins	MCF-7, HCT-116 и HT-29, HL-60	Запуск апоптоза Triggering of apoptosis	26, 27, 32, 33
Антоцианиды Anthocyanides	Колоректальный рак Colorectal cancer	Остановка клеточного цикла Blocking the cell cycle	28
Антоцианы Anthocyanins	HL-60	Индукция дифференцировки клеток Induction of cell differentiation	31
Антоцианы Anthocyanins	BT474, MDA-MB231, MCF-7	Блокировка инвазии и метастазирования Blocking invasion and metastasis	41, 42

лучали 95%-ным подкисленным этанолом методом динамической дробной мацерации. В эксперименте на животных растительные комплексы использовались в дозах 1 и 5 мл/кг per os. Показано, что лидирующим по содержанию суммы фенольных соединений является фенолсодержащий комплекс из плодов: содержание этих БАВ в сухом остатке превышало таковое в растительных комплексах листьев и цветков в 2.2 и 1.6 раза соответственно. Максимальное количество антоцианидинов и фенолокислот также регистрировалось в фенолсодержащем комплексе плодов, хотя в комплексе листьев и цветков они присутствовали в достаточном количестве для проявления фармакологических эффектов [24].

При оценке эффективности комбинированного использования трех растительных комплексов *S. aucuparia* из различных частей растения (листья, цветки, плоды) совместно с циклофосфаном отмечено существенное повышение противометастатического действия цитостатика. Так, у животных с карциномой легких Льюис, получа-

вших фенолсодержащие комплексы плодов, листьев или цветков на фоне цитостатической терапии наблюдалось снижение количества и площади метастазов в легких. Включение в схему химиотерапии растительных комплексов плодов и цветков в дозах 1 и 5 мл/кг привело к достоверному снижению частоты метастазирования. При совместном использовании растительного комплекса из плодов с циклофосфаном частота метастазирования составила 20–38% против 90% у мышей группы монокимиотерапии, индекс ингибирования метастазирования достигал 99%. Если же совместно с цитостатиком вводили комплекс листьев в дозе 1 мл/кг, метастазы в легких мышей полностью отсутствовали [24]. Следует подчеркнуть, что наиболее эффективным оказалось применение в схеме химиотерапии экстракта на 95%-ном подкисленном этаноле. При изолированном назначении животным экстракта на 40%-ном этаноле ингибирующего влияния на развитие карциномы легких Льюис не отмечено, в то время как при использовании экстракта на 95%-ном подкислен-

ном этаноле проявилось достоверное торможение роста первичной опухоли и метастазов [42].

Аналогичные результаты были получены на другой экспериментальной модели — рак легкого-67. При использовании фенолсодержащего комплекса плодов и листьев *S. aucuparia* совместно с циклофосфаном достоверно меньше оказались такие показатели процесса диссеминации, как количество и площадь метастазов в легких, частота метастазирования. Анализ индекса ингибирования метастазирования в % — интегрального показателя угнетения процесса диссеминации, позволил выстроить ряд его значений по мере увеличения противометастатического эффекта: 31 (листья, 1 мл/кг) < 38 (цветки, 5 мл/кг) < 53 (листья, 5 мл/кг) < 55 (плоды, 5 мл/кг) < 67 (цветки, 1 мл/кг) < 77 (плоды, 1 мл/кг) [24].

При изучении влияния оригинального высоконасыщенного антоцианами экстракта плодов *S. aucuparia* на развитие меланомы В-16 и эффективность лечения циклофосфаном показано его выраженное противоопухолевое действие при изолированном назначении. Важная роль в развитии этого эффекта принадлежит стимулирующему влиянию экстракта в отношении стромальных клеток-предшественников, что способствует повышению уровня организации опухолевой ткани в результате развития ее стромы. Так, отмечено существенное увеличение содержания стромальных (фибробластных) предшественников в опухолевом узле В-16 под воздействием разрабатываемого средства [43].

Известно, что у онкологических пациентов активированы процессы перекисного окисления липидов (ПОЛ), еще более возрастающие в процессе цитостатического лечения. Описанные эффекты растительных комплексов из *S. aucuparia*, скорее всего, связаны с антиоксидантным действием фенольных соединений: благодаря фенольной структуре и наличию гидроксильных групп в угле-

родных кольцах они напрямую связывают активные кислородные радикалы, вступая во взаимодействие с ними и приводя к стабилизации молекул, тем самым защищая ДНК здоровых клеток от повреждающего воздействия интермедиантов и продуктов перекисного окисления липидов [44, 45]. Напротив, в опухолевых клетках некоторые флавоноиды снижают активность антиоксидантных ферментов, что приводит к развитию окислительного стресса и способствует их апоптозу [46].

Помимо применения экстрактов из рябины обыкновенной для повышения эффективности противоопухолевой терапии известно их использование в качестве препаратов-корректоров с целью снижения побочных эффектов химиотерапии, в частности анемического синдрома.

В наших экспериментах на животных с опухолью обнаружено, что назначение антоциансодержащих комплексов из плодов *S. aucuparia* совместно с доксорубицином приводит к стимуляции процессов восстановления костномозгового кроветворения, в особенности эритроидного ростка. Так, на протяжении всего эксперимента наблюдалось повышение общей клеточности костного мозга, преимущественно за счет увеличения содержания эритроидных клеток. Кроме того, отмечено достоверное увеличение выхода КОЕ-Э под действием растительного комплекса в 5.4, 1.8 и 3.2 раза на 3, 5 и 10 сут соответственно после введения доксорубицина [47].

Таким образом, совокупность вышеперечисленных данных позволяет говорить о том, что *S. aucuparia* является перспективным сырьевым источником для создания на ее основе лекарственных средств дополнительной терапии пациентов со злокачественными новообразованиями, а богатая сырьевая база и низкая стоимость растительного сырья делают такого рода препараты экономически доступными для большинства нуждающихся больных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Majolo F., de Oliveira Becker Delwing L.K., Marmitt D.J., Bustamante-Filho I.C., Goetttert M.I. 2019. Medical plants and bioactive natural compounds for cancer treatment: Important advances for drug discovery. — *Phytochem. Lett.* 31: 196–207.
<https://doi.org/10.1016/j.phytol.2019.04.003>
2. Singh J., Metrani R., Shivanagoudra S.R., Jayaprakasha G.K., Patil B.S. 2019. Review on bile acids: Effects of the gut microbiome, interactions with dietary fiber, and alterations in the bioaccessibility of bioactive compounds. — *J. Agric. Food Chem.* 67: 9124–9138.
<https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b07306>
3. Fomenko S.E., Kushnerova N.F., Sprygin V.G., Drugova E.S., Momot T.V. 2016. Chemical composition and biological action of rowanberry extract. — *Russ. J. Bioorg. Chem.* 42: 764–769.
<https://doi.org/10.1134/S1068162016070074>
4. Государственный реестр лекарственных средств. 2013. Т. 1. М.: Минздрав России, Фонд фармацевтической информации.
5. Государственная Фармакопея российской федерации. 2018. Т. IV. 14-е изд. М. 7019 с.

6. Злобин А.А., Мартинсон Е.А., Литвинцев С.Г., Овечкина И.А., Дурнев Е.А., Оводова Р.Г. 2011. Пектиновые полисахариды рябины обыкновенной *Sorbus aucuparia* L. — Химия растит. сырья. 1: 39–44.
<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=15859168>
7. Sarv V., Venskutonis P.R., Bhat R. 2020. The *Sorbus* spp. — underutilised plants for foods and nutraceuticals: review on polyphenolic phytochemicals and antioxidant potential. — Antioxidants (Basel). 9(9): 813.
<https://doi.org/10.3390/antiox9090813>
8. Никифорова А.Г., Скочилова Е.А., Мухаметова С.В. 2022. Содержание органических кислот и каротиноидов в плодах рябины (*Sorbus*). — Сельское хозяйство. 1: 1–9.
<https://doi.org/10.7256/2453-8809.2022.1.37915>
9. Aslantas R., Pirlak L., Güleriyüz M. 2007. The nutritional value of wild fruits from the North Eastern Anatolia region of Turkey. — Asian J. Chem. 19(4): 3072–3078.
https://asianjournalofchemistry.co.in/user/journal/viewarticle.aspx?ArticleID=19_4_87
10. Mrkonjić Z.O., Nađpal J., Beara I., Sabo V.A., Četojević-Simin D., Mimica-Dukić N., Lesjak M. 2017. Phenolic profiling and bioactivities of fresh fruits and jam of *Sorbus* species. — J. Serbian Chemical. Soc. 82(6): 651–664.
<https://doi.org/10.2298/JSC170202049M>
11. Yang B., Ahotupa M., Määttä P., Kallio H. 2011. Composition and antioxidative activities of supercritical CO₂-extracted oils from seeds and soft parts of northern berries. — Food Research. International. 44(7): 2009–2017.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.02.025>
12. Berić E., Kampuse S. 2011. The Marmalades of Sweet Rowanberries As an Example of a Functional Food. — In Proceedings of the 7th International Congress of Food Technologists, Biotechnologists and Nutritionists, Opatija, Croatia, 20–23 September: 112–120. https://www.bib.irb.hr/658329/download/658329.PROCEEDINGS_2011.pdf
13. Гостищев И.А., Дейнека В.И., Анисимович И.П., Третьяков М.Ю., Мясникова П.А., Дейнека Л.А., Сорокопудов В.Н. 2010. Каротиноиды, хлорогеновые кислоты и другие природные соединения плодов рябины. — Научные ведомости БелГУ. Естественные науки. 3(74): 83–92. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17423762>
14. Абдуллина Р.Г., Пупыкина К.А., Денисова С.Г., Пупыкина В.В. 2021. Биохимический состав плодов некоторых представителей рода *Sorbus* L. коллекции Южно-Уральского ботанического сада. — Химия растит. сырья. 3: 235–243.
<https://doi.org/10.14258/jcprm.2021037601>
15. Olszewska M.A., Presler A., Michel P. 2012. Profiling of phenolic compounds and antioxidant activity of dry extracts from the selected *Sorbus* species. — Molecules. 17: 3093–3113.
<https://doi.org/10.3390/molecules17033093>
16. Kylli P., Nohynek L., Puupponen-Pimiä R., Westerlund-Wikström B., Steawart D., Heinonen M. 2010. Rowanberry phenolics: Compositional analysis and bioactivities. — J. Agric. Food Chem. 58(22): 11985–11992.
<https://doi.org/10.1021/jf102739v>
17. Olszewska M. 2008. Separation of quercetin, sexangularetin, kaempferol and isorhamnetin for simultaneous HPLC determination of flavonoid aglycones in inflorescences, leaves and fruits of three *Sorbus* species. — J. Pharm. Biomed. Anal. 48(3): 629–635.
<https://doi.org/10.1016/j.jpba.2008.06.004>
18. Olszewska M.A., Nowak S., Michel P., Banaszczyk P., Kicel A. 2010. Assessment of the content of phenolics and antioxidant action of inflorescences and leaves of selected species from the genus *Sorbus* sensu stricto. — Molecules. 15(12): 8769–8783.
<https://doi.org/10.3390/molecules15128769>
19. Olszewska M.A., Michel P. 2009. Antioxidant activity of inflorescences, leaves and fruits of three *Sorbus* species in relation to their polyphenolic composition. — Nat. Prod. Res. 23(16): 1507–1521.
<https://doi.org/10.1080/14786410802636177>
20. Koponen J.M., Happonen A.M., Mattila P.H., Törrönen A.R. 2007. Contents of anthocyanins and ellagitannins in selected foods consumed in Finland. — J. Agric. Food Chem. 55(4): 1612–1619.
<https://doi.org/10.1021/jf062897a>
21. Hukkanen A.T., Pölönen S.S., Kärenlampi S.O., Kokko H.I. 2006. Antioxidant capacity and phenolic content of sweet rowanberries. — J. Agric. Food Chem. 54(1): 112–119.
<https://doi.org/10.1021/jf051697g>
22. Bobinaite R., Grootaert C., Van Camp J., Šarkinas A., Liaudanskas M., Žvikas V., Viškelis P., Venskutonis P.R. 2020. Chemical composition, antioxidant, antimicrobial and antiproliferative activities of the extracts isolated from the pomace of rowanberry (*Sorbus aucuparia* L.). — Food Res. Int. 136: 109310.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109310>
23. Sołtys A., Galanty A., Podolak I. 2020. Ethnopharmacologically important but underestimated genus *Sorbus*: A comprehensive review. — Phytochem. Rev. 19(2): 491–526.
<https://doi.org/10.1007/s11101-020-09674-9>
24. Рыбалкина О.Ю., Разина Т.Г., Киселева Е.А., Калинкина Г.И., Исайкина Н.В., Зуева Е.П., Жданов В.В. 2022. Оценка эффективности использования фенолсодержащих комплексов из различных частей рябины обыкновенной.

- новенной (*Sorbus aucuparia* L.) в онкологическом эксперименте. — Биомедицина. 18(4): 74–85.
<https://doi.org/10.33647/2074-5982-18-4-74-85>
25. Ramos S. 2007. Effects of dietary flavonoids on apoptotic pathways related to cancer chemoprevention. — J. Nutr. Biochem. 18(7): 427–442.
<https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2006.11.004>
 26. Surh Y.J. 2003. Cancer chemoprevention with dietary phytochemicals. — Nat. Rev. Cancer. 3(10): 768–780.
<https://doi.org/10.1038/nrc1189>
 27. Brown E.M., Gill C.I., McDougall G.J., Stewart D. 2012. Mechanisms underlying the anti-proliferative effects of berry components in *in vitro* models of colon cancer. — Curr. Pharm. Biotechnol. 13(1): 200–209.
<https://doi.org/10.2174/138920112798868773>
 28. Cooke D., Steward W.P., Gescher A.J., Marczylo T. 2005. Anthocyanins from fruits and vegetables does bright color signal cancer chemopreventive activity? — Eur. J. Cancer. 41(13): 1931–1940.
<https://doi.org/10.1016/j.ejca.2005.06.009>
 29. Charepalli V., Reddivari L., Radhakrishnan S., Vadde R., Agarwal R., Vanamala J.K.P. 2015. Anthocyanin-containing purple-fleshed potatoes suppress colon tumorigenesis via elimination of colon cancer stem cells. — J. Nutr. Biochem. 26(12): 1641–1649.
<https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2015.08.005>
 30. Fimognari C., Berti F., Nusse M., Cantelli-Forti G., Hrelia P. 2004. Induction of apoptosis in two human leukemia cell lines as well as differentiation in human promyelocytic cells by cyanidin-3-O- β -glucopyranoside. — Biochem. Pharmacol. 67(11): 2047–2056.
<https://doi.org/10.1016/j.bcp.2004.02.021>
 31. Hou D.X., Fujii M., Norihiko Terahara N., Yoshimoto M. 2004. Molecular mechanisms behind the chemopreventive effects of anthocyanidins. — J. Biomed. Biotechnol. 5: 321–325.
<https://doi.org/10.1155/S1110724304403040>
 32. Hou D.X., Ose T., Lin S., Harazoro K., Imamura I., Kubo M., Uto T., Terahara N., Yoshimoto M., Fujii M. 2003. Anthocyanidins induce apoptosis in human promyelocytic leukemia cells: structure–activity relationship and mechanisms involved. — Int. J. Oncol. 23(3): 705–712.
<https://doi.org/10.3892/ijo.23.3.705>
 33. Hsu T.C., Young M.R., Cmarik J., Colburn N.H. 2000. Activator protein 1 (AP-1)- and nuclear factor kappa B (NF- κ B)-dependent transcriptional events in carcinogenesis. — Free Radic. Biol. Med. 28(9): 1338–1348.
[https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(00\)00220-3](https://doi.org/10.1016/S0891-5849(00)00220-3)
 34. Hou D.X., Kai K., Li J.J., Lin S., Terahara N., Wakamatsu M., Fujii M., Young M.R., Colburn N. 2004. Anthocyanidins inhibit activator protein 1 activity and cell transformation: structure-activity relationship and molecular mechanisms. — Carcinogenesis. 25(1): 29–36.
<https://doi.org/10.1093/carcin/bgg184>
 35. Chen X.Y., Zhou J., Luo L.P., Han B., Li F., Chen J.Y., Zhu Y.F., Chen W., Yu X.P. 2015. Black rice anthocyanins suppress metastasis of breast cancer cells by targeting RAS/RAF/MAPK pathway. — Biomed. Res. Int. 2015: 414250.
<https://doi.org/10.1155/2015/414250>
 36. Lin B.W., Gong C.C., Song H.F., Cui Y.Y. 2017. Effects of anthocyanins on the prevention and treatment of cancer. — Br. J. Pharmacol. 174(11): 1226–1243.
<https://doi.org/10.1111/bph.13627>
 37. Oak M.H., Bedoui J.E., Madeira S.V., Chalupsky K., Schini-Kerth V.B. 2006. Delphinidin and cyanidin inhibit PDGF_{AB}-induced VEGF release in vascular smooth muscle cells by preventing activation of p38 MAPK and JNK. — Br. J. Pharmacol. 149(19): 283–290.
<https://doi.org/10.1038/sj.bjp.0706843>
 38. Huang L., Zhang Z., Zhang S., Ren J., Zhang R., Zeng H., Li Q., Wu G. 2011. Inhibitory action of Celastrol on hypoxia-mediated angiogenesis and metastasis via the HIF-1 α pathway. — Int. J. Mol. Med. 27(3): 407–415.
<https://doi.org/10.3892/ijmm.2011.600>
 39. Wang L.S., Hecht S.S., Carmella S.G., Yu N., Larue B., Henry C., McIntyre C., Rocha C., Lechner J.F., Stoner G.D. 2009. Anthocyanins in black raspberries prevent esophageal tumors in rats. — Cancer Prev. Res. (Phila). 2(1): 84–93.
<https://doi.org/10.1158/1940-6207.CAPR-08-0155>
 40. Li X., Xu J., Tang X., Liu Y., Yu X., Wang Z., Liu W. 2016. Anthocyanins inhibit trastuzumab-resistant breast cancer *in vitro* and *in vivo*. — Mol. Med. Rep. 13(5): 4007–4013.
<https://doi.org/10.3892/mmr.2016.4990>
 41. Xu M., Bower K.A., Wang S., Frank J.A., Chen G., Ding M., Wang S., Shi X., Ke Z., Luo J. 2010. Cyanidin-3-glucoside inhibits ethanol-induced invasion of breast cancer cells overexpressing ErbB2. — Mol. Cancer. 9: 285.
<https://doi.org/10.1186/1476-4598-9-285>
 42. Исайкина Н.В., Калинкина Г.И., Разина Т.Г., Зуева Е.П., Рыбалкина О.Ю., Ульрих А.В., Федорова Е.П., Шилова А.Б. 2017. Плоды рябины обыкновенной (*Sorbus aucuparia*) как источник средства для повышения эффективности химиотерапии опухолей. — Химия растит. сырья. 4: 165–173. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30755121>

43. Разина Т.Г., Зуева Е.П., Ульрих А.В., Рыбалкина О.Ю., Чайковский А.В., Исайкина Н.В., Калинкина Г.И., Жданов В.В., Зюзьков Г.Н. 2016. Противоопухолевые эффекты оригинального высоконасыщенного антоцианами экстракта рябины обыкновенной и механизмы их развития. — Бюл. экспериментальной биологии и медицины. 162(7): 107–112. <https://elibrary.ru/item.asp?id=26330283>
44. Heim K.E., Tagliaferro A.R., Bobilya D.J. 2002. Flavonoid antioxidants: chemistry, metabolism and structure-activity relationships. — J. Nutr Biochem. 13(10): 572–584. [https://doi.org/10.1016/S0955-2863\(02\)00208-5](https://doi.org/10.1016/S0955-2863(02)00208-5)
45. Wang S.Y., Jiao H. 2000. Scavenging capacity of berry crops on superoxide radicals, hydrogen peroxide, hydroxyl radicals and singlet oxygen. — J. Agric. Food Chem. 48(11): 5677–5684. <https://doi.org/10.1021/jf000766i>
46. Тараховский Ю.С., Ким Ю.А., Абдрашилов Б.С., Музафаров Е.Н. 2013. Флавоноиды: биохимия, биофизика, медицина. Пушино. С. 310.
47. Рыбалкина О.Ю., Федорова Е.П., Чайковский А.В., Разина Т.Г., Калинкина Г.И., Исайкина Н.В., Киселева Е.А., Зуева Е.П., Жданов В.В. 2022. Эритропоэзстимулирующие свойства антоциансодержащего комплекса из *Sorbus aucuparia* L. при цитостатическом анемическом синдроме у мышей с карциномой легких Льюис. — Бюл. экспериментальной биологии и медицины. 2022. 173(2): 171–176. <https://doi.org/10.47056/0365-9615-2022-173-2-171-176>

Preparations from *Sorbus aucuparia* (Rosaceae) in Experimental Therapy of Malignant Neoplasms: Emerging Opportunities

O. Yu. Rybalkina^{a, b, *}, T. G. Razina^a, E. P. Zueva^a, E. N. Amosova^a, G. I. Kalinkina^b,
M. Yu. Minakova^a, V. V. Zhdanov^a

^aGoldberg Research Institute of Pharmacology and Regenerative Medicine, Tomsk National Research Medical Center,
Russian Academy of Sciences, Tomsk, Russia

^bSiberian State Medical University, Tomsk, Russia

*e-mail: olgatomsk87@gmail.com

Abstract—The review presents information from the literature and our own data on some pharmacological properties of *Sorbus aucuparia* L. Particular attention is paid to the research in experimental oncology.

Keywords: *Sorbus aucuparia*, anthocyanins, flavonoids, experimental oncology, cytostatic therapy

REFERENCES

1. Majolo F., de Oliveira Becker Delwing L.K., Marmitt D.J., Bustamante-Filho I.C., Goettert M.I. 2019. Medical plants and bioactive natural compounds for cancer treatment: Important advances for drug discovery. — Phytochem. Lett. 31: 196–207. <https://doi.org/10.1016/j.phytol.2019.04.003>
2. Singh J., Metrani R., Shivanagoudra S.R., Jayaprakasha G.K., Patil B.S. 2019. Review on bile acids: Effects of the gut microbiome, interactions with dietary fiber, and alterations in the bioaccessibility of bioactive compounds. — J. Agric. Food Chem. 67: 9124–9138. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b07306>
3. Fomenko S.E., Kushnerova N.F., Sprygin V.G., Drugova E.S., Momot T.V. 2016. Chemical composition and biological action of rowanberry extract. — Russ. J. Bioorg. Chem. 42: 764–769. <https://doi.org/10.1134/S1068162016070074>
4. State Drug Register. 2013. Ministry of Healthcare of Russia, Fund for Pharmaceutical Information. <https://grls.rosminzdrav.ru> (In Russian)
5. State Pharmacopoeia of the Russian Federation. 2018. XIV ed. Part 4. M. 7019 p. (In Russian)
6. Zlobin A.A., Martinson E.A., Litvinets S.G., Ovechkina I.A., Durnev Ye.A., Ovodova R.G. 2011. [Pectin polysaccharides of mountain ash (*Sorbus aucuparia* L.)] — Khimija Rastitel'nogo Syr'ja. 1: 39–44. 93 <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=15859168> (In Russian)
7. Sarv V., Venskutonis P.R., Bhat R. 2020. The *Sorbus* spp. — underutilised plants for foods and nutraceuticals: review on polyphenolic phytochemicals and antioxidant potential. — Antioxidants. 9(9): 813. <https://doi.org/10.3390/antiox9090813>
8. Nikiforova A.G., Kochilova E.A., Mukhametova S.V. 2022. The content of organic acids and carotenoids in rowan fruits (*Sorbus*). — Agriculture. 1: 1–9. <https://doi.org/10.7256/2453-8809.2022.1.37915> (In Russian)

9. Aslantas R., Pirlak L., Güleriyüz M. 2007. The nutritional value of wild fruits from the North Eastern Anatolia region of Turkey. — Asian J. Chem. 19(4): 3072–3078.
https://asianjournalofchemistry.co.in/user/journal/viewarticle.aspx?ArticleID=19_4_87
10. Mrkonjić Z.O., Nađpal J., Beara I., Sabo V.A., Četojević-Simin D., Mimica-Dukić N., Lesjak M. 2017. Phenolic profiling and bioactivities of fresh fruits and jam of *Sorbus* species. — J. Serbian Chemical. Soc. 82(6): 651–664.
<https://doi.org/10.2298/JSC170202049M>
11. Yang B., Ahotupa M., Määttä P., Kallio H. 2011. Composition and antioxidative activities of supercritical CO₂-extracted oils from seeds and soft parts of northern berries. — Food Research. International. 44(7): 2009–2017.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.02.025>
12. Berić E., Kampuse S. 2011. The Marmalades of Sweet Rowanberries as an Example of a Functional Food. — In Proceedings of the 7th International Congress of Food Technologists, Biotechnologists and Nutritionists, Opatija, Croatia, 20–23 September. P. 112–120. https://www.bib.irb.hr/658329/download/658329.PROCEEDINGS_2011.pdf
13. Gostishchev I.A., Deineka V.I., Anisimovich I.P., Treťakov M.Yu., M'asnikova P.A., Deineka L.A., Sorokopudov V.N. 2010. Carotenoids, chlorogenic acids and other natural compounds of *Sorbus* fruits. — Belgorod State University. Scientific Bulletin. Series: Natural sciences. 3(74): 83–92. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17423762> (In Russian)
14. Abdullina R.G., Pupykina K.A., Denisova S.G., Pupykina V.V. 2021. Biochemical composition of fruits of some representatives of the genus *Sorbus* L. in collection of the South Ural Botanical Garden. — Khimija Rastitel'nogo Syr'ja. 3: 235–243. <https://doi.org/10.14258/jcprm.2021037601> (In Russian)
15. Olszewska M.A., Presler A., Michel P. 2012. Profiling of phenolic compounds and antioxidant activity of dry extracts from the selected *Sorbus* species. — Molecules. 17: 3093–3113.
<https://doi.org/10.3390/molecules17033093>
16. Kylli P., Nohynek L., Puupponen-Pimiä R., Westerlund-Wikström B., Steawart D., Heinonen M. 2010. Rowanberry phenolics: Compositional analysis and bioactivities. — J. Agric. Food Chem. 58(22): 11985–11992.
<https://doi.org/10.1021/jf102739v>
17. Olszewska M. 2008. Separation of quercetin, sexangularetin, kaempferol and isorhamnetin for simultaneous HPLC determination of flavonoid aglycones in inflorescences, leaves and fruits of three *Sorbus* species. — J. Pharm. Biomed. Anal. 48(3): 629–635.
<https://doi.org/10.1016/j.jpba.2008.06.004>
18. Olszewska M.A., Nowak S., Michel P., Banaszczyk P., Kicel A. 2010. Assessment of the content of phenolics and antioxidant action of inflorescences and leaves of selected species from the genus *Sorbus* sensu stricto. — Molecules. 15(12): 8769–8783.
<https://doi.org/10.3390/molecules15128769>
19. Olszewska M.A., Michel P. 2009. Antioxidant activity of inflorescences, leaves and fruits of three *Sorbus* species in relation to their polyphenolic composition. — Nat. Prod. Res. 23(16): 1507–1521.
<https://doi.org/10.1080/14786410802636177>
20. Koponen J.M., Happonen A.M., Mattila P.H., Törrönen A.R. 2007. Contents of anthocyanins and ellagitannins in selected foods consumed in Finland. — J. Agric. Food Chem. 55(4): 1612–1619.
<https://doi.org/10.1021/jf062897a>
21. Hukkanen A.T., Pölönen S.S., Kärenlampi S.O., Kokko H.I. 2006. Antioxidant capacity and phenolic content of sweet rowanberries. — J. Agric. Food Chem. 54(1): 112–119.
<https://doi.org/10.1021/jf051697g>
22. Bobinaite R., Grootaert C., Van Camp J., Šarkinas A., Liaudanskas M., Žvikas V., Viškelis P., Venskutonis P.R. 2020. Chemical composition, antioxidant, antimicrobial and antiproliferative activities of the extracts isolated from the pomace of rowanberry (*Sorbus aucuparia* L.). — Food Res. Int. 136: 109310.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109310>
23. Sołtys A., Galanty A., Podolak I. 2020. Ethnopharmacologically important but underestimated genus *Sorbus*: A comprehensive review. — Phytochem. Rev. 19(2): 491–526.
<https://doi.org/10.1007/s11101-020-09674-9>
24. Rybalkina O.Yu., Razina T.G., Kiseleva E.A., Kalinkina G.I., Isaikina N.V., Zueva E.P., Zhdanov V.V. 2022. Evaluation of the efficiency of phenol-containing complexes extracted from different parts of *Sorbus aucuparia* L. in an oncological experiment. — Journal Biomed. 18(4): 74–85.
<https://doi.org/10.33647/2074-5982-18-4-74-85> (In Russian)
25. Ramos S. 2007. Effects of dietary flavonoids on apoptotic pathways related to cancer chemoprevention. — J. Nutr. Biochem. 18(7): 427–442.
<https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2006.11.004>
26. Surh Y.J. 2003. Cancer chemoprevention with dietary phytochemicals. — Nat. Rev. Cancer. 3(10): 768–780.
<https://doi.org/10.1038/nrc1189>
27. Brown E.M., Gill C.I., McDougall G.J., Stewart D. 2012. Mechanisms underlying the anti-proliferative effects of berry components in *in vitro* models of colon cancer. — Curr. Pharm. Biotechnol. 13(1): 200–209.
<https://doi.org/10.2174/138920112798868773>
28. Cooke D., Steward W.P., Gescher A.J., Marczylo T. 2005. Anthocyanins from fruits and vegetables does bright color signal cancer chemopreventive activity? — Eur. J. Cancer. 41(13): 1931–1940.
<https://doi.org/10.1016/j.ejca.2005.06.009>

29. Charepalli V., Reddivari L., Radhakrishnan S., Vadde R., Agarwal R., Vanamala J.K.P. 2015. Anthocyanin-containing purple-fleshed potatoes suppress colon tumorigenesis via elimination of colon cancer stem cells. — J. Nutr. Biochem. 26(12): 1641–1649. <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2015.08.005>
30. Fimognari C., Berti F., Nusse M., Cantelli-Forti G., Hrelia P. 2004. Induction of apoptosis in two human leukemia cell lines as well as differentiation in human promyelocytic cells by cyanidin-3-*O*- β -glucopyranoside. — Biochem. Pharmacol. 67(11): 2047–2056. <https://doi.org/10.1016/j.bcp.2004.02.021>
31. Hou D.X., Fujii M., Norihiko Terahara N., Yoshimoto M. 2004. Molecular mechanisms behind the chemopreventive effects of anthocyanidins. — J. Biomed. Biotechnol. 5: 321–325. <https://doi.org/10.1155/S1110724304403040>
32. Hou D.X., Ose T., Lin S., Harazoro K., Imamura I., Kubo M., Uto T., Terahara N., Yoshimoto M., Fujii M. 2003. Anthocyanidins induce apoptosis in human promyelocytic leukemia cells: structure–activity relationship and mechanisms involved. — Int. J. Oncol. 23(3): 705–712. <https://doi.org/10.3892/ijo.23.3.705>
33. Hsu T.C., Young M.R., Cmarik J., Colburn N.H. 2000. Activator protein 1 (AP-1)- and nuclear factor kappa B (NF-kappaB)-dependent transcriptional events in carcinogenesis. — Free Radic. Biol. Med. 28(9): 1338–1348. [https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(00\)00220-3](https://doi.org/10.1016/S0891-5849(00)00220-3)
34. Hou D.X., Kai K., Li J.J., Lin S., Terahara N., Wakamatsu M., Fujii M., Young M.R., Colburn N. 2004. Anthocyanidins inhibit activator protein 1 activity and cell transformation: structure–activity relationship and molecular mechanisms. — Carcinogenesis. 25(1): 29–36. <https://doi.org/10.1093/carcin/bgg184>
35. Chen X.Y., Zhou J., Luo L.P., Han B., Li F., Chen J.Y., Zhu Y.F., Chen W., Yu X.P. 2015. Black rice anthocyanins suppress metastasis of breast cancer cells by targeting RAS/RAF/MAPK pathway. — Biomed. Res. Int. 2015: 414250. <https://doi.org/10.1155/2015/414250>
36. Lin B.W., Gong C.C., Song H.F., Cui Y.Y. 2017. Effects of anthocyanins on the prevention and treatment of cancer. — Br. J. Pharmacol. 174(11): 1226–1243. <https://doi.org/10.1111/bph.13627>
37. Oak M.H., Bedoui J.E., Madeira S.V., Chalupsky K., Schini-Kerth V.B. 2006. Delphinidin and cyanidin inhibit PDGF α B-induced VEGF release in vascular smooth muscle cells by preventing activation of p38 MAPK and JNK. — Br. J. Pharmacol. 149(19): 283–290. <https://doi.org/10.1038/sj.bjp.0706843>
38. Huang L., Zhang Z., Zhang S., Ren J., Zhang R., Zeng H., Li Q., Wu G. 2011. Inhibitory action of Celastrol on hypoxia-mediated angiogenesis and metastasis via the HIF-1 α pathway. — Int. J. Mol. Med. 27(3): 407–415. <https://doi.org/10.3892/ijmm.2011.600>
39. Wang L.S., Hecht S.S., Carmella S.G., Yu N., Larue B., Henry C., McIntyre C., Rocha C., Lechner J.F., Stoner G.D. 2009. Anthocyanins in black raspberries prevent esophageal tumors in rats. — Cancer Prev. Res. (Phila). 2(1): 84–93. <https://doi.org/10.1158/1940-6207.CAPR-08-0155>
40. Li X., Xu J., Tang X., Liu Y., Yu X., Wang Z., Liu W. 2016. Anthocyanins inhibit trastuzumab-resistant breast cancer *in vitro* and *in vivo*. — Mol. Med. Rep. 13(5): 4007–4013. <https://doi.org/10.3892/mmr.2016.4990>
41. Xu M., Bower K.A., Wang S., Frank J.A., Chen G., Ding M., Wang S., Shi X., Ke Z., Luo J. 2010. Cyanidin-3-glucoside inhibits ethanol-induced invasion of breast cancer cells overexpressing ErbB2. — Mol. Cancer. 9: 285. <https://doi.org/10.1186/1476-4598-9-285>
42. Isaykina N.V., Kalinkina G.I., Razina T.G., Zueva E.P., Rybalkina O.Yu., Ulrich A.V., Fedorova E.P., Shilova A.B. 2017. Fruits of *Sorbus aucuparia* L. are a source drug for increase of tumors effectiveness chemotherapy. — Khimija Rastitel'nogo Syr'ja. 4: 165–173. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30755121> (In Russian)
43. Razina T.G., Zueva E.P., Ulrikh A.V., Rybalkina O.Yu., Chaikovskii A.V., Isaikina N.V., Kalinkina G.I., Zhdanov V.V., Zyuz'kov G.N. 2016. Antitumor effects of the original extract of mountain ash highly saturated with anthocyanins and mechanisms of their development. — Bull. Exp. Biol. Med. 162(1): 93–97. <https://doi.org/10.1007/s10517-016-3554-4>
44. Heim K.E., Tagliaferro A.R., Bobilya D.J. 2002. Flavonoid antioxidants: chemistry, metabolism and structure–activity relationships. — J. Nutr Biochem. 13(10): 572–584. [https://doi.org/10.1016/S0955-2863\(02\)00208-5](https://doi.org/10.1016/S0955-2863(02)00208-5)
45. Wang S.Y., Jiao H. 2000. Scavenging capacity of berry crops on superoxide radicals, hydrogen peroxide, hydroxyl radicals and singlet oxygen. — J. Agric. Food Chem. 48(11): 5677–5684. <https://doi.org/10.1021/jf000766i>
46. Tarakhovsky Yu.S., Kim Yu.A., Abdrasilov B.S., Muzafarov E.N. 2013. Flavonoids: biochemistry, biophysics, medicine. Pushchinxo. P. 310. (In Russian)
47. Rybalkina O.Yu., Fedorova E.P., Chaikovskiy A.V., Razina T.G., Kiseleva E.A., Zueva E.P., Zhdanov V.V., Kalinkina G.I., Isaikina N.V. 2022. Erythropoiesis-stimulating properties of an anthocyanin-containing complex from *Sorbus aucuparia* L. in cytostatic anemic syndrome in mice with Lewis lung carcinoma. — Bulletin of experimental biology and medicine. 2022. 173(2): 199–204. <https://doi.org/10.1007/s10517-022-05518-y>

КОМПОНЕНТНЫЙ СОСТАВ И НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ *VISCUM ALBUM* (VISCACEAE)

© 2023 г. С. Л. Аджиахметова¹ *, Н. М. Червонная¹, Д. И. Поздняков¹,
О. И. Попова¹, Э. Т. Оганесян¹

¹Пятигорский медико-фармацевтический институт –
филиал ФГБОУ ВО “Волгоградский государственный медицинский университет” Минздрава РФ,
г. Пятигорск, Россия

*e-mail: similla503@mail.ru

Поступила в редакцию 19.04.2023 г.

После доработки 29.04.2023 г.

Принята к публикации 07.05.2023 г.

В обзоре обобщены данные по компонентному составу и некоторым особенностям биологической активности омелы белой *Viscum album* L. (Viscaceae Batsch). Среди вторичных метаболитов *V. album* доминирующими являются вискотоксины, лектины, углеводы, аминокислоты, флавоноиды, три-терпеновые кислоты и азотистые соединения. Показано, что экстракты *V. album*, а также отдельные компоненты проявляют разные виды биологической активности, в том числе противоопухолевую, иммуномодулирующую, противодиабетическую, а также улучшают когнитивные функции.

Ключевые слова: *Viscum album*, компонентный состав, биологическая активность

DOI: 10.31857/S0033994623030044, **EDN:** RZUHMM

Род омела (*Viscum* L.) – вечнозеленое полупаразитирующее кустарниковое растение. Положение этого рода в системе менялось [1¹, 2², 3]. В настоящее время представители рода *Viscum* рассматриваются в составе семейства Омеловые (Viscaceae Batsch) порядка Santalales Dumort. [4].

Род *Viscum* по разным данным включает от 70 [5] до 120 видов [1¹, 6], среди которых наиболее распространенными являются: омела белая (*Viscum album* L.), омела окрашенная (*Viscum coloratum* (Kom.) Nakai), омела пихтовая (*Viscum abietis* (Wiesb.) Fritsch), омела австрийская (*Viscum austriacum* Wiesb.), омела членистая (*Viscum articulatum* Burm. f.), омела красно-ягодная (*Viscum cruciatum* (Sieberex) Boiss.), омела трехлопастная (*Viscum trilobatum* Talbot), омела наименьшая (*Viscum minimum* Harv.), омела непальская (*Viscum nepalense* Spreng), омела угловатая (*Viscum angulatum* (Heyneex) DC.) и др.

Виды омелы распространены в тропических и субтропических зонах Африки, а также в Новой Гвинее, Австралии и умеренных областях Евразии [1¹, 7]. В южной части России и во многих районах Северного Кавказа широко распростра-

нена омела белая, а омела окрашенная – на Дальнем Востоке [1¹, 2², 8³].

Viscum album подразделяется на пять подвидов: *V. album* L. subsp. **meridianum** (Danser) DG Long, который произрастает от восточных Гималаев до Китая и северного Индокитая и паразитирует на представителях родов *Acer*, *Carpinus*, *Juglans*, *Prunus*, *Sorbus*; *V. album* L. subsp. **album** – паразитирует в основном на лиственных породах: *Malus*, *Populus*, *Tilia*, *Quercus* и др. *V. album* L. subsp. **austriacum** (Wiesb.) Vollm. обитает в основном на сосне обыкновенной *Pinus sylvestris* L., *V. album* subsp. **abietis** (Wiesb.) Abrom. – на пихте белой (*Abies alba* L.), а эндемик острова Крит *V. album* L. subsp. **creticum** – на сосне калабрийской (*Pinus brutia* Ten.) [9–13].

Вид *V. album* является гемипаразитом, так как получает воду и минеральные вещества через видоизмененный орган гаустории (дисковидные “корни-присоски”), которые служат для проникновения внутрь тканей растения-хозяина, а органические вещества фотосинтезирует самостоятельно, поскольку имеет собственную хлорофиллоносную систему [1¹, 14⁴].

¹ Никитичева З.И. 1981. Семейство омеловые (Visiaceae). – В кн.: Жизнь растений: Цветковые растения. М. Т. 5(2). С. 327–329.

² Растительные ресурсы СССР: Цветковые растения, их химический состав, использование; семейства Rutaceae – Elaeagnaceae. 1988. Л. Т. 4. С. 197–199.

³ Сосудистые растения советского Дальнего Востока. 1995. Под ред. С.С. Харкевича. СПб. Т. 7. 395 с.

⁴ Попова О.И., Муравьева Д.А. 1996. Омела белая как источник ценных фармакологически активных веществ. – Химико-фармацевтическое производство. Обзорная информация. Вып. 8. 36 с.



Рис. 1. Внешний вид *Viscum album* L., произрастающей на *Malus domestica* Borkh. (1): *a* – осенний период (25.09.2021 г.), *b* – зимний период (21.01.2022 г.) и (2) на *Populus nigra* L. – осенний период (02.10.2022 г.) в с. Татарка Шпаковского района Ставропольского края. Фотографии выполнены Аджиахметовой С.Л.

Fig. 1. Appearance of *Viscum album* L. growing on a *Malus domestica* Borkh. (1): *a* – in autumn (September 25, 2021), *b* – in winter (January 1, 2022) and (2) on *Populus nigra* L. – in autumn (October 2, 2022) in the village of Tatarka Shpakovsky district Stavropol Territory. Photos by S. L. Adzhiakhmetova.

На рис. 1 представлены фотографии омелы белой, произрастающей на яблоне домашней (*Malus domestica* Borkh.) и тополе черном (*Populus nigra* L.) в окрестностях г. Ставрополя в осенний (25.09.2021 г., 02.10.2022 г.) и зимний (21.01.2022 г.) периоды (фотографии выполнены С.Л. Аджиахметовой).

Омела часто имеет высокие показатели транспирации, которые достигаются за счет более низкого водного потенциала (более отрицательного), чем у дерева-хозяина [15, 16]. Важно отметить, что омела поглощает от хозяина не только воду и питательные вещества, но и значительное количество углерода [17].

Для объяснения закономерностей получения омелой азота и углерода от дерева-хозяина были предложены различные гипотезы [18]. Одной из них является “гипотеза N-паразитизма”, согласно которой достаточное количество азота омела получает через ксилему дерева-хозяина [19]. Ряд авторов предполагает, что некоторые омелы имитируют морфологию листьев дерева-хозяина, чтобы тем самым накапливать больше азота (“гипотеза мимикрии”). Этой гипотезой пытаются объяснить высокое концентрирование азота в листьях омелы [18]. Для подтверждения наличия

питательных веществ, переходящих от дерева-хозяина в ткань омелы, было изучено соотношение азота к кальцию. Если соотношение $N : Ca \leq 1$, то это свидетельствует о том, что питательные вещества были получены из ксилемы хозяина (пассивное поглощение питательных веществ), но если это соотношение >1 , то они получены из флоэмы хозяина (активное поглощение питательных веществ) [16, 20]. Таким образом, можно сделать вывод, что омела накапливает азот как активно, так и пассивно [15].

“Гипотеза C-паразитизма”, предположительно указывает на получение омелой углерода и азота непосредственно из ксилемы в виде аминокислот “гетеротрофный” углерод [18, 21, 22]. У омелы низкая “эффективность использования воды”, поскольку она использует гораздо больше воды на единицу углерода, зафиксированного в процессе фотосинтеза, по сравнению с деревом-хозяином [18].

КОМПОНЕНТНЫЙ СОСТАВ

Омела содержит различные типы биологически активных веществ (БАВ), основные из которых: полипептиды (вискотоксины), гликопроте-

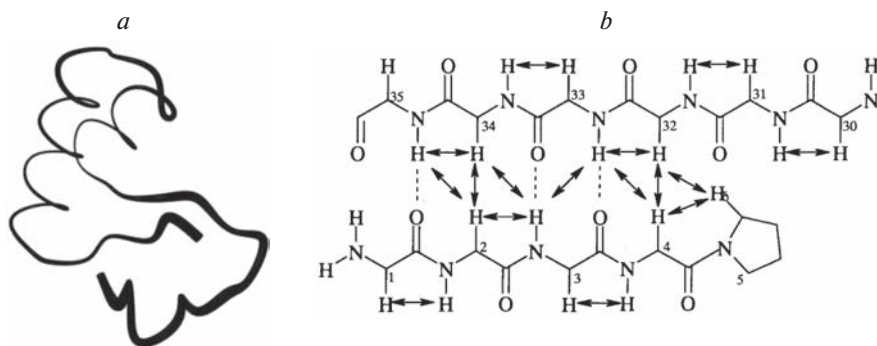


Рис. 2. *a* — Основа вискотоксина АЗ представленная совокупностью десяти конформеров, определенная с помощью ЯМР ^1H спектроскопии с использованием программы MOLMOL; *b* — антипараллельные β -пряди вискотоксина АЗ [31].
Fig. 2. *a* — The basis of viscotoxin A3 represented by a set of ten conformers, determined by ^1H NMR spectroscopy using the MOLMOL program; *b* — antiparallel β -strands of viscotoxin A3 [31].

ины (лектин MLT), углеводы, аминокислоты, флавоноиды, тритерпеновые кислоты, азотистые соединения [2², 14⁴, 23⁵, 24⁶, 25⁷, 26]. На количественное содержание конкретных БАВ влияет время сбора, стадия развития, месторасположение на дереве-хозяине и его вид [14⁴, 26]. Наиболее специфичными и уникальными соединениями для омелы белой являются вискотоксины и лектины.

Вискотоксины, выделенные из *V. album*, представляют собой токсичные белки, богатые цистеином низкомолекулярные (около 5 кДа) основные полипептиды, которые относятся к группе α - и β -тионинов и состоят из 46 аминокислот и трех дисульфидных мостиков. Из омелы белой выделены и идентифицированы 8 изоформ вискотоксинов: A1, A2, A3, B, B2, C1, U-PS и I-PS [2², 27–33⁸]. Вискотоксины после процессов окисления и расщепления трипсином и химотрипсином, а также получаемые при этом пептиды, были разделены с помощью ионообменной хроматографии и подвергнуты определению аминокислотной последовательности с помощью деградации по Эдману. Аминокислотная последовательность вискотоксинов очень сходна, хотя есть и различия (выделено полужирным курсивом в табл. 1). В ранних работах (1971 г.) G. Samuelsson и B. Pettersson последовательность аминокислот с 43 по 46 представлена Tyr43-Pro44-Asp45-Lys46, что отличается от более поздних результатов (2000 г.) S. Ro-

magnoli с соавторами (табл. 1) [30, 34–36]. В работе G. Samuelsson и B. Pettersson [35] определено расположение дисульфидных мостиков между остатками цистеина. Один дисульфидный мостик связывает остаток Cys16 с остатком Cys26, образуя петлю из 9 аминокислот в цепи. Аминный и карбоксильный концы молекулы сближены двумя дисульфидными мостиками, соединяющими остатки 3 и 4 с остатками Cys32 и Cys40, а также образуя вторую петлю из 7 аминокислот (остатки 33–39). Такое расположение дисульфидных связей способствует формированию очень компактной структуры молекулы, что объясняет ее стабильность: водные растворы вискотоксинов хранили в холодильнике в течение нескольких лет без потери биологической активности.

В работах S. Romagnoli с соавторами [30] и R. Koradi с соавторами [37] скелет вискотоксина АЗ изображается в виде цилиндрического стержня переменного радиуса (рис. 2*a*). На рис. 2*b* представлена идентификация короткого плеча вискотоксина АЗ. Стрелками показаны NOE (ядерный эффект Оверхаузера), пунктирные линии, указывающие на водородные связи β -прядей [30]. Общая структура вискотоксина АЗ напоминает основу α - и β -тионинов и похожа на заглавную букву L (рис. 3). Длинное плечо этой буквы представляет собой антипараллельную паруспираль, а короткое плечо определяется двумя антипараллельными β -прядами. Аминокислотные остатки 6–18 и 22–30 участвуют в формировании спиралей, стабилизированных рядом внутриспиральных водородных связей. Эти связи с участием дисульфидного мостика обнаружены между остатками 16 и 26. β -Цепи состоят из остатков 1–5 и 32–37, связанных четырьмя водородными связями и дисульфидным мостиком между остатками 4 и 32. С-концевая часть белка образует клубок, скрепленный в основном гидрофобными взаимодействиями и дисульфидным мостиком между остатками 3 и 40. Два плеча буквы L соединены водородными и

⁵ Муравьева Д.А., Попова О.И., Гаспарян К.О. 1991. Азотистые основания омелы белой и формианы простой. — Фармация. 40(1): 16–17.

⁶ Попова О.И., Муравьева Д.А. 1990. Полисахариды омелы белой (*Viscum album* L.). — Фармация. 39(5): 41–44.

⁷ Попова О.И., Муравьева Д.А. 1992. Аминокислотный состав омелы белой (*Viscum album* L.). — Фармация. 41(3): 21–23.

⁸ Леусова Н.Ю., Катола В.М., Крылов А.В. 2008. Фитохимия растений омелы (*Viscum* L.) и их лечебные свойства. — Бюл. физиол. и патол. дыхания. 28: 69–73.
<https://elibrary.ru/item.asp?id=9952356>

Таблица 1. Сравнение аминокислотной последовательности вискотоксинов

Table 1. Comparison of the amino acid sequence of viscotoxins

Вискотоксины Viscotoxins	№	Вискотоксин A1 Viscotoxin A1	Вискотоксин A2 Viscotoxin A2	Вискотоксин A3 Viscotoxin A3	Вискотоксин B Viscotoxin B	Вискотоксин 1-PS Viscotoxin 1-PS
Аминокислот- ная последова- тельность Amino acid sequence	1	Lys	Lys	Lys	Lys	Lys
	2	Ser	Ser	Ser	Ser	Ser
	3	Cys	Cys	Cys	Cys	Cys
	4	Cys	Cys	Cys	Cys	Cys
	5	Pro	Pro	Pro	Pro	Pro
	6	<i>Ser</i>	<i>Asn</i>	<i>Asn</i>	<i>Asn</i>	<i>Asn</i>
	7	Thr	Thr	Thr	Thr	Thr
	8	Thr	Thr	Thr	Thr	Thr
	9	Gly	Gly	Gly	Gly	Gly
	10	Arg	Arg	Arg	Arg	Arg
	11	Asn	Asn	Asn	Asn	Asn
	12	Ile	Ile	Ile	Ile	Ile
	13	Tyr	Tyr	Tyr	Tyr	Tyr
	14	Asn	Asn	Asn	Asn	Asn
	15	<i>Thr</i>	<i>Thr</i>	<i>Ala</i>	<i>Thr</i>	<i>Thr</i>
	16	Cys	Cys	Cys	Cys	Cys
	17	Arg	Arg	Arg	Arg	Arg
	18	<i>Leu</i>	<i>Phe</i>	<i>Leu</i>	<i>Leu</i>	<i>Phe</i>
	19	<i>Thr</i>	<i>Gly</i>	<i>Thr</i>	<i>Gly</i>	<i>Gly</i>
	20	Gly	Gly	Gly	Gly	Gly
	21	<i>Ser</i>	<i>Gly</i>	<i>Ala</i>	<i>Gly</i>	<i>Gly</i>
	22	<i>Ser</i>	<i>Ser</i>	<i>Pro</i>	<i>Ser</i>	<i>Ser</i>
	23	Arg	Arg	Arg	Arg	Arg
	24	<i>Glu</i>	<i>Glu</i>	<i>Pro</i>	<i>Glu</i>	<i>Glu</i>
	25	<i>Thr</i>	<i>Val</i>	<i>Thr</i>	<i>Arg</i>	<i>Val</i>
	26	Cys	Cys	Cys	Cys	Cys
	27	Ala	Ala	Ala	Ala	Ala
	28	<i>Lys</i>	<i>Ser</i>	<i>Lys</i>	<i>Ser</i>	<i>Arg</i>
	29	<i>Leu</i>	<i>Leu</i>	<i>Leu</i>	<i>Leu</i>	<i>Ile</i>
	30	Ser	Ser	Ser	Ser	Ser
	31	Gly	Gly	Gly	Gly	Gly
	32	Cys	Cys	Cys	Cys	Cys
	33	Lys	Lys	Lys	Lys	Lys
	34	Ile	Ile	Ile	Ile	Ile
	35	Ile	Ile	Ile	Ile	Ile
	36	Ser	Ser	Ser	Ser	Ser
	37	<i>Ala</i>	<i>Ala</i>	<i>Gly</i>	<i>Ala</i>	<i>Ala</i>
	38	Ser	Ser	Ser	Ser	Ser
	39	Thr	Thr	Thr	Thr	Thr
	40	Cys	Cys	Cys	Cys	Cys
	41	Pro	Pro	Pro	Pro	Pro
	42	Ser	Ser	Ser	Ser	Ser
	43	<i>Asn</i>	<i>Asp</i>	<i>Asp</i>	<i>Asp</i>	<i>Asp</i>
	44	Tyr	Tyr	Tyr	Tyr	Tyr
	45	Pro	Pro	Pro	Pro	Pro
	46	Lys	Lys	Lys	Lys	Lys

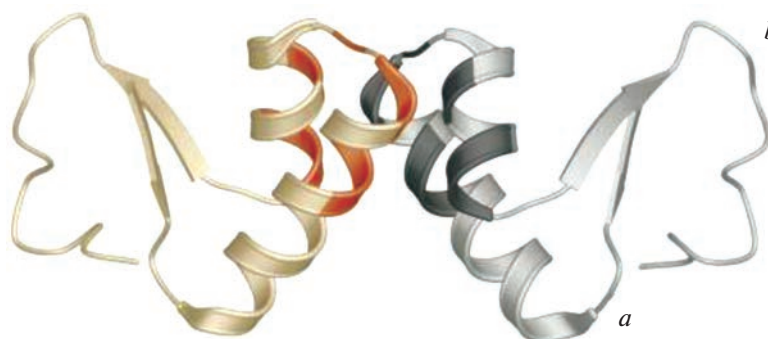


Рис. 3. Ленточная диаграмма димера гидрофобного типа вискотоксина А3 (карты Фурье, после модификации плотности). Остатки, составляющие интерфейс димера представлены в более темных тонах (метод SHELXD); *a* — длинное плечо, *b* — короткое плечо.

Fig. 3. Ribbon diagram of the hydrophobic-type dimer of viscotoxin A3 (Fourier maps, following density refinement). The residues constituting the dimer interface are shown in darker colors (SHELXD method); *a* — long arm, *b* — short arm.

ионными связями, включающие остатки 2, 4, 10 и 46. С-концевая карбоксильная группа связывается с гуанидиновой группой Arg10 ионной связью и с атомом азота Cys4 через водородную связь. Атомы боковой и основной цепи Ser2 связываются с гуанидиновой группой Arg10 [29].

Состав и содержание вискотоксинов варьируют в зависимости от дерева-хозяина. Максимальное содержание вискотоксинов в листьях омелы белой наблюдается в зимнее время, в плодах — в осеннее. Во всех подвидах *V. album* чаще всего преобладают вискотоксины А2 и А3 [27, 38].

Было установлено, что в вегетативных и генеративных органах типового подвида преобладают вискотоксины А2, А3 и отсутствует 1-PS, в то время как у подвида *V. album* ssp. *austriacum* — преобладает вискотоксин 1-PS, а вискотоксины А2, А3 обнаруживаются в небольших количествах. В *V. album* ssp. *abietis* преобладает А3, а вискотоксин А2 не обнаружен [12, 39].

В настоящее время большинство исследований посвящено изучению лектинов омелы белой, особенно галактозо-специфического лектина (MLI). Лектины омелы белой являются сахаросвязывающими белками, которые подразделяются на три типа в зависимости от их сахароспецифичности: галактозо-специфический ML I (115 кДа, димер), галактозо- и *N*-ацетил-D-галактозамин-специфический ML II (60 кДа) и *N*-ацетил-D-галактозамин-специфический ML III (60 кДа) [33⁸, 40–42]. Лектины омелы белой представляют собой гетеродимерные гликопротеины, принадлежащие к хорошо изученным белкам, инактивирующим рибосомы II типа (RIPs II) [43–46]. Они состоят из А-субъединицы, включающей три консервативных индивидуальных домена с молекулярной массой 29, 27, 25 кДа [47] и состоящей из 254 аминокислот, и В-субъединицы из 264 аминокислот, содержащей два домена с аналогичной конфигурацией с молекулярной массой 32 и 25 кДа соот-

ветственно [48], соединенных между собой дисульфидным мостиком (рис. 4) [43, 44]. Y. Endo с соавторами и H. Bantel с соавторами показали, что лектины омелы белой ML I, MLA оказывают противоопухолевый эффект в культурах лейкемических Т и В-клеток. При этом авторы связывают данный вид активности с воздействием А и В цепи лектинов на ферменты семейства каспаз, в частности каспазу 8 и каспазу 9, которые ответственны за индукцию апоптотической гибели клеток [47, 49].

В дополнение к вискотоксину и лектину, омела содержит другие типы пептидов, известные как пептиды Куттана, которые оказывают некоторое иммуностимулирующее и цитотоксическое действие [50].

Высокая биологическая активность омелы белой связана с наличием в ее составе полифенольных соединений, относящихся к вторичным метаболитам растительного происхождения, таких как флавоноиды и фенольные кислоты, которые обладают антиоксидантными свойствами [2², 14⁴, 38, 51]. По-видимому, можно утверждать, что высокая антирадикальная ($\cdot\text{OH}$) активность миррицетина, кверцетина, рамнетина и др. флавоноидов вносит свой вклад в проявление противоопухолевой активности омелы белой [52⁹]. Основные полифенолы, идентифицированные в омеле белой, относятся к классу фенолоксилов — гидроксibenзойные и гидроксикоричные кислоты, и флавоноиды, в том числе флавононы, флавоны, флавонолы. Основные полифенолы, обнаруженные в *V. album* представлены в табл. 2 [2², 12, 14⁴,

⁹ Оганесян Э.Т., Шатохин С.С. 2021. Использование квантово-химических параметров для прогнозирования антирадикальной ($\text{HO}^\cdot$) активности родственных структур, содержащих циннамоильный фрагмент. IV. Взаимосвязь структурной активности между индексами ненасыщенности и производными флавонона с флороглюциновым кольцом "А". — Фармация и фармакология. 9(2): 161–169. <https://doi.org/10.19163/2307-9266-2021-9-2-161-169>

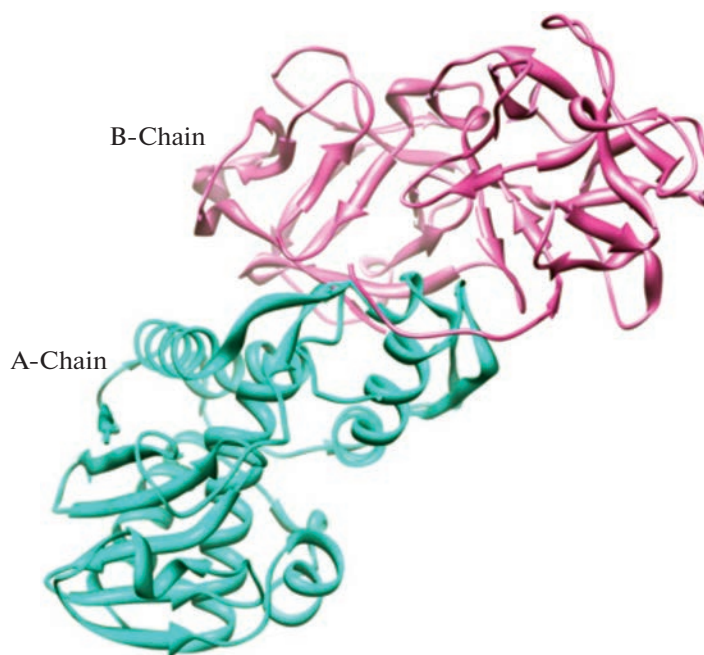
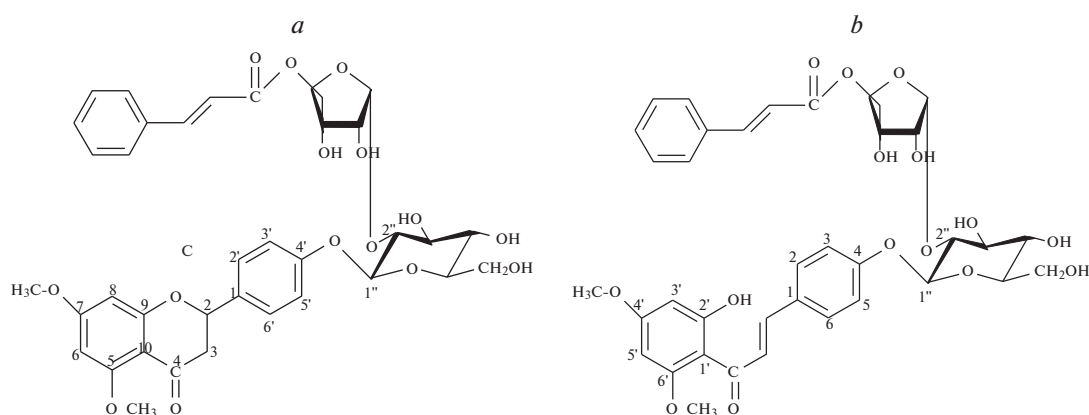
Рис. 4. Молекулярная структура лектина *Viscum album* L. (ML I).Fig. 4. Molecular structure of *Viscum album* lectin (ML I).

Рис. 5. Структуры гликозидов халкона.

Fig. 5. Structures of chalcone glycosides.

38, 53, 54]. Количество и состав флавоноидов омелы белой может различаться в зависимости от дерева-хозяина и периода вегетации [12, 53, 54].

В работе Orhan D. Deliorman с соавторами [61] представлены две новые структуры гликозидов халкона: 5,7-диметоксифлаванон-4'-O-[2''-O-(5'''-O-транс-циннамоил)-β-D-апиофуранозил]-β-D-глюкопиранозид (a) и 2'-гидрокси-4',6'-диметоксичалкон-4-O-[2''-O-(5'''-O-транс-циннамоил)-β-D-апиофуранозил]-β-D-глюкопиранозид (b) (рис. 5). Гликозиды были выделены из извлечения, полученного из листьев и побегов омелы белой экстракцией 80%-ным этиловым спиртом, с после-

дующим хроматографическим разделением на силикагеле.

Одним из важных классов биологически активных соединений омелы белой являются тритерпеноиды. Из *V. album* выделены: α-вискол (β-амирин), β-амирина ацетат, β-вискол (лупеол), лупеол ацетат, олеаноловая и урсоловая кислоты, бетулин, бетулиновая кислота, тритерпеновый спирт $C_{30}H_{50}O_2$ [2², 14⁴, 38, 59, 61, 65¹⁰, 66].

¹⁰ Попова О.И., Муравьева Д.А. 1990. Урсоловая кислота из олиственных побегов *Viscum album*. — Хим. природ. соедин. 3: 412–413.

Таблица 2. Полифенольные соединения *Viscum album* L.**Table 2.** Polyphenolic compounds of *Viscum album* L.

№	Название Name	Часть растения Plant part	Литературные источники Literature sources
1. Флавоноиды Flavonoids			
1.1. Флавонолы Flavonols			
1	Кемпферол Kaempferol	Побеги Shoots	2, 14, 38, 54–59
2	Кверцетин Quercetin	Листья Leaves	
3	3- <i>O</i> -метилкверцетин 3- <i>O</i> -methylquercetin	Плоды Fruits	
4	3,7-Диметилловый эфир кверцетина Quercetin 3,7-dimethyl ether		
5	3,3'-Диметилловый эфир кверцетина Quercetin 3,3'-dimethyl ester		
6	3,3',7-Триметилловый эфир кверцетина Quercetin 3,3',7-trimethyl ether		
7	Рамназин Ramnazin		
8	Рамнетин Ramnetin		
9	Изорамнетин Isorhamnetin		
10	Мирицетин Myricetin		
11	Сакуранетин Sacuranetin		
1.2. Флаванолы (дигидрофлавонолы) Flavanonols (dihydroflavonols)			
12	Дигидрокверцетин Dihydroquercetin	Плоды Fruits	60
1.3. Флавоны Flavones			
13	Апигенин Apigenin	Плоды Fruits	60
14	Лютеолин Luteolin		
1.4. Флаваноны Flavanones			
15	Нарингенин Naringenin	Плоды Fruits	60
16	Эриодиктиол Eriodictyol	Листья, плоды Leaves, fruits	57, 60
17	5,7-диметоксифлаванон-4'- <i>O</i> -глюкозид 5,7-dimethoxyflavanone-4'- <i>O</i> -glucoside	Побеги Shoots	61
18	5,7-диметоксифлаванон-4'- <i>O</i> -[2"- <i>O</i> -(5'''- <i>O</i> -транс-циннамоил)-апиозил]-глюко- зид) 5,7-dimethoxyflavanone-4'- <i>O</i> -[2"- <i>O</i> -(5'''- <i>O</i> -trans-cinnamoyl)-apiosyl]-glucoside)	Листья Leaves	
19	5,7-диметоксифлаванон-4'- <i>O</i> -[апиозил-(1→2)]-глюкозид 5,7-dimethoxyflava- none-4'- <i>O</i> -[apiosyl-(1→2)]-glucoside		
20	(2S)-3',5,7-триметоксифлаванон-4- <i>O</i> -глюкозид (2S)-3',5,7-trimethoxyflavanone-4- <i>O</i> -glucoside		

Таблица 2. Продолжение

№	Название Name	Часть растения Plant part	Литературные источники Literature sources
1.5. Халконы Chalcones			
21	2'-гидрокси-4',6'-диметоксихалкон-4- <i>O</i> -глюкозид 2'-hydroxy-4',6'-dimethoxychalcone-4- <i>O</i> -glucoside	Побеги Shoots	61
22	2'-гидрокси-4',6'-диметоксихалкон-4- <i>O</i> -[2"- <i>O</i> -(5'''- <i>O</i> -транс-циннамоил)-апиозил]-глюкозид 2'-hydroxy-4',6'-dimethoxychalcone-4- <i>O</i> -[2"- <i>O</i> -(5'''- <i>O</i> -trans-cinnamoyl)-apiosyl]-glucoside	Листья Leaves	
23	2'-гидрокси-3,4',6'-триметоксихалкон-4- <i>O</i> -глюкозид 2'-hydroxy-3,4',6'-trimethoxychalcone-4- <i>O</i> -glucoside		
24	2'-гидрокси-4',60'-диметоксихалкон-4- <i>O</i> -[апиозил(1 → 2)]глюкозид 2'-hydroxy-4',60'-dimethoxychalcone-4- <i>O</i> -[apiosyl(1 → 2)]glucoside		
1.6. Гликозид флавонолов Flavonol glycoside			
25	Рутин Rutin	Побеги Shoots Листья Leaves	62
2. Фенольные кислоты Phenolic acids			
2.1. Гидроксibenзойные кислоты Hydroxybenzoic acids			
26	Галловая кислота Gallic acid	Побеги Shoots	2, 7, 14, 56, 59
27	Протокатеховая кислота Protocatechuic acid	Листья Leaves	
28	<i>n</i> -Гидроксibenзойная кислота <i>p</i> -Hydroxybenzoic acid		
29	<i>n</i> -Гидроксифенилуксусная кислота <i>p</i> -Hydroxyphenylaceticacid		
30	2,6-Дигидроксibenзойная кислота 2,6-Dihydroxybenzoic acid		
31	Гентизиновая (2,5-дигидроксibenзойная) кислота Gentisinic (2,5-dihydroxybenzoic) acid		
32	Салициловая кислота Salicylic acid		
33	Сиреневая (4-гидрокси-3,5-диметоксibenзойная) кислота Syringic (4-hydroxy-3,5-dimethoxy benzoic) acid		
2.2. Гидроксикоричные кислоты Hydroxycinnamic acids			
34	Кофейная кислота Caffeic acid	Побеги Shoots	2, 7, 14, 56, 59
35	Феруловая кислота Ferulic acid	Листья Leaves	
36	Синаповая кислота Synapic acid		
37	Хлорогеновая кислота Chlorogenic acid		
38	Ванилиновая кислота Vanillic acid		

Таблица 2. Окончание

№	Название Name	Часть растения Plant part	Литературные источники Literature sources
39	<i>n</i> -Кумаровая кислота <i>p</i> -Coumaric acid		
40	Розмариновая кислота Rosmarinic acid		
3. Фенилпропаноиды Phenylpropanoids			
41	Кониферин (кониферилловый спирт 4- <i>O</i> -β-D-глюкозид) Coniferin (coniferyl alcohol 4- <i>O</i> -β-D-glucoside)	Побеги Shoots	2, 62, 63, 64
42	Сирингин (сирингенин 4- <i>O</i> -β-D-глюкозид) Siringin (syringenin 4- <i>O</i> -β-D-glucoside)	Листья Leaves	
43	4- <i>O</i> - <i>b</i> -D-апиозил(1→2)-β-D-глюкозид конифериллового спирта 4- <i>O</i> - <i>b</i> -D-apiosyl(1→2)-β-D-glucoside of coniferyl alcohol		
44	4- <i>O</i> -β-D-апиозил(1→2)-β-D-глюкозид сиринганина 4- <i>O</i> -β-D-apiosyl(1→2)-β-D-glucoside syringanin		
45	Калопанаксин D (4-[2- <i>O</i> -(апиозил)-β-D-глюкозилокси]-3-метоксикоричный спирт) Calopanaxin D (4-[2- <i>O</i> -(apiosyl)-β-D-glucosyloxy]-3-methoxycinnamic alcohol)		

В *V. album* обнаружены азотсодержащие соединения: холин [14⁴, 23⁵, 67¹¹, 68], β-фенилэтиламин, тирамин, гистамин, ацетилхолин, пропионилхолин [23⁵, 69¹²]. Холин распространен в растениях и образуется при гидролитическом расщеплении лецитинов. Он является источником метильных групп в реакциях ферментативного метилирования [69¹²]. В работах О.И. Поповой и Д.А. Муравьевой [14⁴, 23⁵] представлена методика, разработанная для количественного определения холина.

В 2022 г. в работе С.N. Chukwu с соавторами [70] показан состав *n*-гексанового извлечения из листьев омелы белой (табл. 3).

Из-за разнообразного и богатого компонентного состава *V. album* проявляет высокую биологическую активность.

БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ

В традиционной и народной медицине омела белая используется для лечения многих заболеваний. Наиболее изучены противораковые, иммуномодулирующие, противодиабетические, гепатопротекторные, антибактериальные и противогрибковые свойства экстрактов омелы белой [59, 71–73]. В народной медицине *V. album* нашла ши-

рокое применение в виде настоев, экстрактов, настоек, отваров, припарок, которые могут применяться при артрозах, атеросклерозе, сахарном диабете, сердечно-сосудистых заболеваниях, заболеваниях костей и суставов, головной боли, расстройствах иммунной и нервной систем [2², 14⁴, 33⁸, 71].

Доклинические исследования омелы белой позволили выявить цитотоксический, апоптоз-индуцирующий и иммуномодулирующий эффекты. Препараты омелы являются одними из наиболее часто назначаемых дополнительных методов лечения больных раком в Европе, особенно в Германии, Австрии и Швейцарии [72, 73]. Существует два различных типа положительных механизмов противоопухолевой активности омелы. Некоторые авторы поддерживают тезис о том, что омела белая оказывает цитостатическое (ингибирующее рост опухоли) и иммуномодулирующее (через лектины, активирующие иммунную систему) действия. Также есть мнение, что омела улучшает самочувствие и качество жизни, уменьшает побочные эффекты при химиотерапевтическом лечении рака, возможно, за счет высвобождения эндорфинов. Поэтому препараты из омелы белой используют для сопровождения адъювантной терапии рака для усиления иммунного ответа при введении одновременно с иммуногеном [74–77]. Иммуномодулирующее действие лектинов омелы белой проявляется усилением секреции цитокинов и активности естественных киллеров [78, 79]. Происходит значительное увеличение количества естественных киллеров и Т-хелперов, кото-

¹¹Ревяцкая А.П. 1966. Технология фитопрепаратов из омелы и разработка методов их анализа: автореф. дис. ... канд. фарм. наук. Львов, 15 с.

¹²Методы биохимического исследования растений. Под ред. А.И. Ермакова. Л., 1992. 456 с.

Таблица 3. Химический состав *n*-гексанового извлечения листьев *Viscum album*
Table 3. Chemical composition of *n*-hexane extract of *Viscum album* leaves

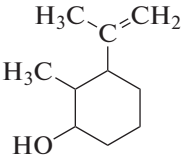
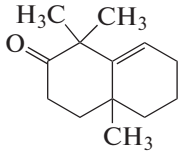
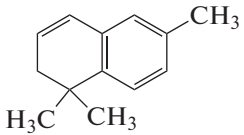
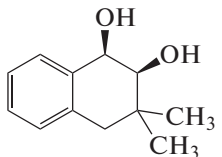
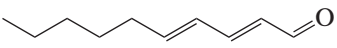
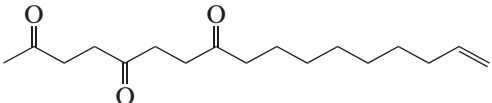
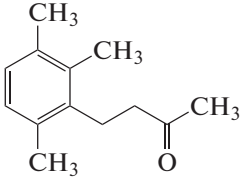
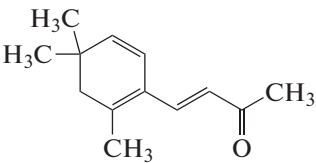
№	Название соединения Compound	Структурная формула Structural formula	Молекулярная формула Molecular formula	Класс Class
1	2-Метил-3-(1-метилэтенил)-(1 α ,2 α ,3 α)-циклогексанол 2-Methyl-3-(1-methylethenyl)-(1 α ,2 α ,3 α)-cyclohexanol		C ₁₀ H ₁₈ O	Вторичные спирты Secondary alcohols
2	3,4,4a,5,6,7-Гексагидро-1,1,4a-триметил-2(1H)-нафталенон 3,4,4a,5,6,7-Hexahydro-1,1,4a-trimethyl-2(1H)-naphthalenone		C ₁₃ H ₂₀ O	Ароматические углеводороды (производные нафталина) Aromatic hydrocarbons (derivatives of naphthalene)
3	1,2-Дигидро-1,1,6-триметилнафталин 1,2-Dihydro-1,1,6-trimethylnaphthalene		C ₁₃ H ₁₆	
4	1,2,3,4-Тетрагидро-3,3-диметил-цис-1,2-нафталендиол 1,2,3,4-Tetrahydro-3,3-dimethyl-cis-1,2-naphthalenediol		C ₁₂ H ₁₆ O ₂	
5	2,4-Декадиеналь 2,4-Decadienal		C ₁₀ H ₁₆ O	Карбонильные соединения (альдегиды) Carbonyl compounds (aldehydes)
6	16-Гептадецен-2,5,8-трион 16-Heptadecene-2,5,8-trione		C ₁₇ H ₂₈ O ₃	Карбонильные соединения (кетоны) Carbonyl compounds (ketones)
7	3-Бутанон,1-(2,3,6-триметилфенил) 3-Butanone,1-(2,3,6-trimethylphenyl)		C ₁₃ H ₁₈ O	
8	4-(2,6,6-Триметилциклогекса-1,3-диенил)-бут-3-ен-2-он 4-(2,6,6-Trimethylcyclohexa-1,3-dienyl)-but-3-en-2-one		C ₁₃ H ₁₈ O	

Таблица 3. Продолжение

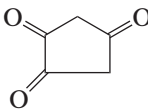
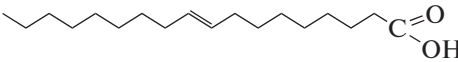
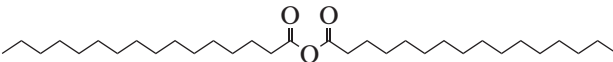
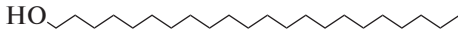
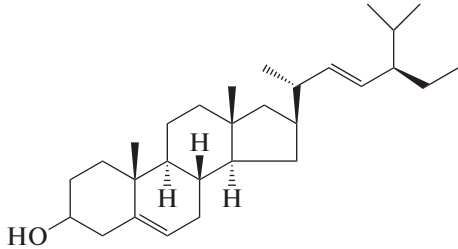
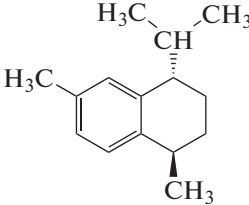
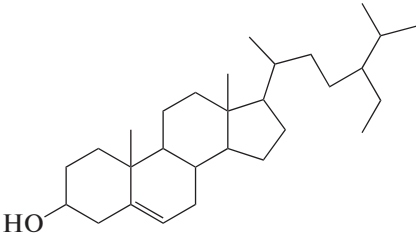
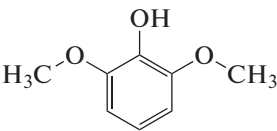
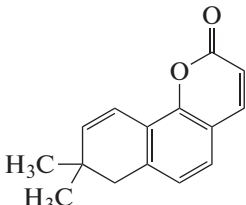
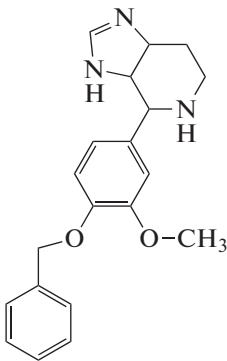
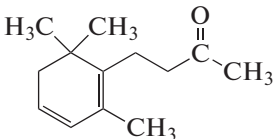
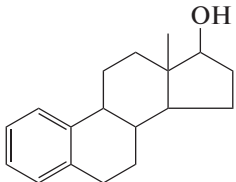
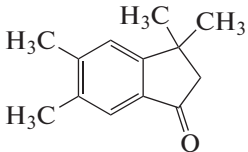
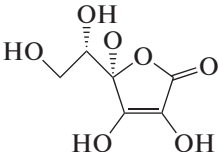
№	Название соединения Compound	Структурная формула Structural formula	Молекулярная формула Molecular formula	Класс Class
9	1,2,4-Циклопентатрион 1,2,4-Cyclopentatrion		$C_5H_4O_3$	
10	Олеиновая кислота (цис-9-октадеценовая кислота) Oleic acid (cis-9-octadecenoic acid)		$C_{18}H_{34}O_2$	Жирная кислота Fatty acid
11	Пальмитиновый ангидрид Palmitic anhydride		$C_{32}H_{62}O_3$	
12	Бегеновый спирт (докозанол-1) Behenicalcohol (docosanol-1)		$C_{22}H_{46}O$	Жирный спирт Fatty alcohol
13	Стигмастерол Stigmasterol		$C_{29}H_{48}O$	
14	Транс-каламенен Trans-Calamenene		$C_{15}H_{22}$	Фитостерины Phytosterols
15	β-ситостерин β-sitosterol		$C_{29}H_{50}O$	
16	2,6-диметоксифенол 2,6-dimethoxyphenol		$C_8H_{10}O_3$	
17	8,8-диметил-2Н,8Н-Бензо[1,2-Ь:3,4-Ь']дипиран-2-он 8,8-dimethyl-2H,8H-Benzo[1,2-b:3,4-b']dipyran-2-one		$C_{14}H_{12}O_3$	Ароматические гетероциклы Aromatic heterocycles

Таблица 3. Окончание

№	Название соединения Compound	Структурная формула Structural formula	Молекулярная формула Molecular formula	Класс Class
18	4-[4-(Бензилокси)-3-метоксифенил]-3H,4H,5H,6H,-имидазо[4,5-C]пиридин 4-[4-(Benzyloxy)-3-methoxyphenyl]-3H,4H,5H,6H,-imidazo[4,5-C]pyridine]		$C_{20}H_{21}N_3O_2$	
19	4-(2,6,6-триметил-1,3-циклогексадиен-1-ил)-2-бутанон 4-(2,6,6-trimethyl-1,3-cyclohexadien-1-yl)-2-butanone		$C_{13}H_{20}O$	Сесквитерпеноиды Sesquiterpenoids
20	Эстра-1,3,5(10)-триен-17-ол Estra-1,3,5(10)-trien-17-ol		$C_{18}H_{24}O$	Стероидные липиды Steroid lipids
21	2,3-дигидро-3,3,5,6-тетраметил-1H-инден-1-он 2,3-dihydro-3,3,5,6-tetramethyl-1H-inden-1-one		$C_{13}H_{16}O$	Инданон Indanone
22	Витамин С (гамма-лактон 2,3-дегидро-L-гулоновой кислоты) Vitamin C (2,3-dehydro-L-gulonic acid gamma-lactone)		$C_6H_8O_6$	Органические кислоты Organic acids

рые, как считается, участвуют в противоопухолевых процессах. Данную активность наблюдали у пациентов, получавших ML-1 подкожными инъекциями при 20 случаях карциномы молочной железы [80].

Исследования М.В. Enesel с соавторами [2005 г., 81] посвящены применению препарата “Изорель” из омелы (водный экстракт всего растения) для улучшения иммунной компетентности и общего состояния здоровья онкологических больных, перенесших операцию. В исследовании приняли участие 70 онкологических больных, разделенных на две группы: группа лечения препаратом “Изорель” из 40 пациентов, которые получали его в течение двух пред- и двух послеопераци-

онных недель (1 карцинома пищевода, 16 карцином желудка, 2 карциномы поджелудочной железы и 21 колоректальная карцинома) и контрольная группа одного пола из 30 пациентов, которые не получали “Изорель” (карциномы: 2 – пищевода, 9 – желудка, 3 – поджелудочной железы, 1 – подвздошной кишки и 15 колоректальных карцином). “Изорель” значительно ослаблял иммуносупрессивные эффекты операции, увеличивая количество НК-клеток, Т- и В-клеток, в частности Т-хелперных клеток, уровня IgA, IgG и IgM. Как статус Камофски, так и шкала тревожности значительно улучшились у пациентов, получавших лечение препаратом “Изорель”, по сравнению с контрольной группой.

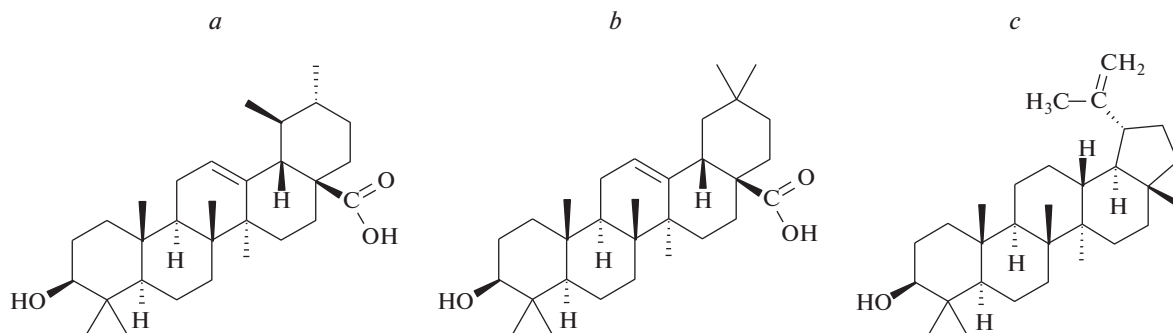


Рис. 6. Структуры основных тритерпеноидов: *a* — урсоловая и *b* — олеаноловая кислоты, *c* — лупеол.
Fig. 6. Structures of the main triterpenoids: *a* — ursolic and *b* — oleanolic acids, *c* — lupeol.

В исследовании С. Maletzki с соавторами [82] было показано, что существует большое сходство между трехмерной структурой лектина омелы белой и токсина Шигашигеллы дизентерии (рис. 7), что свидетельствует о бактериальном происхождении этого белка и его иммуногенности. Более того, исследователи предложили сочетание экстракта омелы белой и лектина омелы белой с другими формами паттерн-распознающих рецепторов для усиления иммуностимулирующего действия. Комбинация лигандов рецептора распознавания образов, примененная метрономно (1–3 инъекции в неделю в течение месяца) стимулирует врожденный иммунитет, а более длительное лечение приводило к полной ремиссии на модели рака у мышей, в то время как лиганды рецепторов рас-

познавания отдельных образов замедляли рост опухоли.

У экстракта из омелы белой и у ее лектинов наблюдали несколько иммуностимулирующих эффектов. Выявленные ДНК-стабилизирующие свойства экстрактов омелы белой являются главными в обеспечении защиты нормальных клеток от злокачественного перерождения. Эффекты *in vitro* включали повышенную экспрессию цитокинов, ответственных за противовоспалительный иммунитет (интерлейкина-1 β (IL-1 β), IL-6, фактора некроза опухолей лимфотоксин α (TNF- α)) и адаптивный иммунитет — IL-5, гранулоцитарно-макрофагального колониестимулирующего фактора (GM-CSF). Выявлены более высокий уровень фагоцитоза и активности натуральных килеров (NK)-клеток и цитотоксических Т-лимфоцитов [79, 82]. Эффекты *in vivo* включали увеличение числа клеток мономерного трансмембранного гликопротеина (CD4) [83], опухолевых антиген-специфических CD8⁺ цитотоксических Т-клеток, NK- и γ - δ -Т-клеток [84].

V. album входит в фитотерапевтические препараты: “Cefalektin”, “Eurixor”, “Lektinol” и антропософские (гомеопатические) средства: “Abnobaviscum”, “Helixor”, “Iscador”, “Iscucin”, “Isorel”, “Pleposol” [26, 74, 77], представленные в таблице 4. Преобладающие механизмы действия препаратов омелы следующие: “Helixor” — цитотоксическое действие на опухолевые клетки [85], “Iscador” — индукция апоптоза [86], “Abno baviscum” — снижение пролиферация клеток [87].

Препараты *V. album* используют, начиная с низкой дозы, которую с течением времени постепенно увеличивают в зависимости от индивидуальной реакции пациента. В высоких начальных дозах их чаще применяют либо путем подкожной инъекции, либо в виде внутривенного или внутритуморозного введения, в зависимости от расположения опухоли, стадии заболевания и опыта врача. *V. album* оказывает иммуностимулирующее действие при низких концентрациях и цитостатическое/цитотоксическое — при более высоких

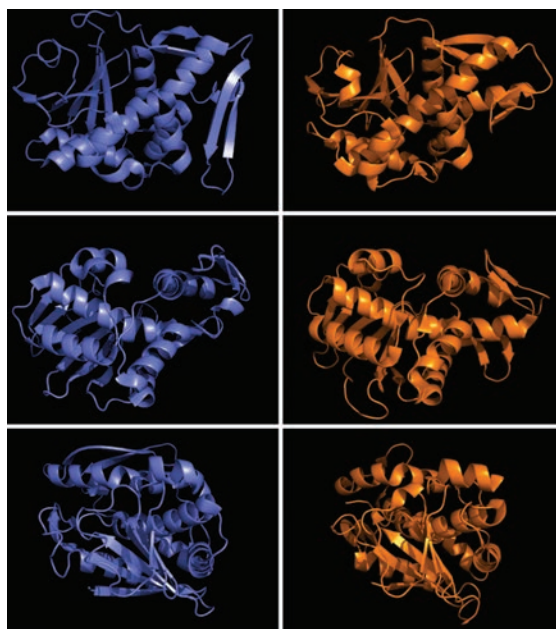


Рис. 7. Структурная идентичность лектина-1 *Viscum album* L. (синий) и Шига токсина (оранжевый) показана в трех ориентациях [82].
Fig. 7. Structural identity of *Viscum album* L. lectin-1 (blue) and Shiga toxin (orange) shown in three orientations [82].

Таблица 4. Основные препараты *Viscum album* L., используемые в лечении злокачественных новообразований
Table 4. The main preparations of *Viscum album* L. used in the treatment of malignant neoplasms

Название препарата Drug name	Дерево-хозяин Host tree	Тип экстракта Extract type	Лекарственная форма, доза Pharmaceutical form, dose	Производитель Manufacturer
Abnoba viscum	Основные роды: яблоня, пихта, сосна, береза, боярышник, ясень, дуб Main genera: <i>Malus</i> , <i>Abies</i> , <i>Pinus</i> , <i>Betula</i> , <i>Crataegus</i> , <i>Fraxinus</i> , <i>Quercus</i>	Водный экстракт свежих побегов (1 : 50) Aqueous extract of fresh shoots (1 : 50)	Раствор для инъекций: 2 и 20 мг Injection solution: 2 and 20 mg	ABNOBA GMBH, Германия Germany
Helixor A	Пихта белая <i>A. alba</i>	Водный экстракт свежих побегов (1:19) Aqueous extract of fresh shoots (1:19)	Раствор для инъекций: 0.01, 0.1, 1, 5, 10, 20, 30, 50 и 100 мг Injection solution: 0.01, 0.1, 1, 5, 10, 20, 30, 50 and 100 mg	Helixor® Heilmittel GmbH & Co., Rosenfeld, Германия Germany
Helixor M	Яблоня гибридная <i>M. hybridae</i>			
Helixor P	Сосна обыкновенная <i>P. sylvestris</i>			
Iscador M	Яблоня домашняя <i>M. domestica</i> Borkh.	Водный экстракт свежих побегов (совместно с лактобактериями) проходит через процесс ферментации молочной кислоты Aqueous extract of fresh shoots (together with lactobacilli) undergoes lactic acid fermentation	Раствор для инъекций: 0.0001, 0.001, 0.01, 0.1, 1, 10 и 20 мг Injection solution: 0.0001, 0.001, 0.01, 0.1, 1, 10 and 20 mg	Iscador®, Weleda AG, Schwabisch Gmund, Германия Germany
Iscador Qu	Дуб черешчатый <i>Q. robur</i>			
Iscador P	Сосна обыкновенная <i>P. sylvestris</i>			
Iscador A	Пихта белая <i>A. alba</i>			
Iscucin	Основные роды: яблоня, пихта, сосна, липа Main genera: <i>Malus</i> , <i>Abies</i> , <i>Pinus</i> , <i>Tiliae</i>	Водный экстракт высушенных побегов Aqueous extract of dry shoots	Раствор для инъекций Injection solution	WALA Heilmittel GmbH, Германия, Германия Germany
Lektinol	Дуб черешчатый <i>Q. robur</i>	Водно-спиртовой экстракт свежих побегов (1 : 1.1–1.5) Hydroalcoholic fresh shoot extract (1 : 1.1–1.5)	Раствор для инъекций Injection solution	Madaus AG, Cologne, Германия Germany

концентрациях [72, 88–90]. Предполагается, что при внутривенном введении высоких доз препараты из *V. album* могут быть более эффективными, снижая риск метастазирования или рецидива опухоли, возможно, за счет модуляции иммунной системы и эффектов антиангиогенеза [71, 91–93].

В работе M.L. Steele с соавторами [2014 г., 72] представлено обобщенное многоцентровое исследование, посвященное безопасному внутри-

венному применению препаратов *V. album* в онкологии, с участием врачей антропософской медицины. В исследовании оценивали данные из медицинских карт всех пациентов, давших согласие на лечение в период с 2003 по 2013 гг. Из 475 онкологических больных, получавших внутривенные инфузии препаратов омелы “Helixor”, “Abnoba viscum”, “Iscador”, 22 пациента (4.6%) сообщили о 32 побочных реакциях легкой (59.4%)

и средней степени тяжести (40.6%). Экстракт омелы при изолированном введении и в составе комбинированной химиотерапии оказывал сопоставимое токсическое действие. Обнаружено, что пациенты почти в два раза реже испытывали нежелательные реакции на внутривенное введение препаратов омелы по сравнению с подкожным введением.

В качестве заключения авторами сделан вывод, что баланс между активацией иммунных клеток и апоптозом будет иметь важное значение в понимании защитного и стимулирующего действия *V. album* с одной стороны и цитотоксического действия — с другой. Экстракты *V. album* в низких концентрациях применяют для стабилизации ДНК и защиты иммунных клеток. Следовательно, они могут быть использованы в адъювантной терапии рака [93, 94].

Вискотоксины являются важными веществами *V. album*. Известно, что они оказывают иммуногенное действие [95].

АНТИДИАБЕТИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ

Работа А.Е. Ено с соавторами [2008 г., 96] посвящена стимуляции секреции инсулина экстрактом листьев *V. album* у крыс с диабетом, индуцированным стрептозоцином (ZTC). 20 белых крыс самцов линии Wistar с массой тела 250–300 г были разделены на две группы: с нормогликемией и с индуцированным ZTC диабетом. Каждую из них далее делили на две группы по пять крыс в каждой. После ночного голодания (12 ч) животные в каждой группе получали дозу D-глюкозы (2.0 г/кг внутривенно) под анестезией пентобарбиталом с экстрактом омелы (100 мг/кг внутривенно) или без него. Применение экстракта не оказывало существенного влияния на уровень глюкозы в крови крыс с нормогликемией, но вызывало снижение этого показателя у крыс с диабетом примерно на 35.3%. Экстракт стимулировал секрецию инсулина примерно на 92.9% от контроля у крыс в 1 серии и примерно на 81.5% от контроля — в группе с диабетом. У них в течение 50 мин наблюдали легкое, но значимое снижение уровня глюкагона после первого часа от момента инъекции. Авторы предположили, что экстракт листьев *V. album* может оказывать антигипергликемическое, инсулинотропное и, возможно, мягкое глюкагоностатическое действие [71, 96].

В исследовании А. Turkkan с соавторами [2016 г., 97] была использована модель диабета, индуцированного ZTC 55 мг/кг путем однократного введения в цитратном буфере (0.1 М, pH 4.5) интробрюшинно. Проводили оценку влияния экстракта омелы белой на перекисное окисление липидов и антиоксидантную систему. Эксперимент проводили на 32 взрослых крысах самцах

Sprague–Dawley, которые были разделены на 4 группы по 8 крыс: первая — контрольная группа; вторая — группа, получавшая ZTC; третья — группа, получавшая экстракт *V. album*; четвертая — группа, которой вводили экстракт *V. album* и ZTC. Экстракт омелы белой вводили перорально 1 раз в сутки в течение 10 дней (100 мг/кг). Фиксировали уровень глюкозы в крови натошак. Определяли также активность каталазы, концентрацию малонового диальдегида и белка, присутствующих в образцах ткани печени и почек. Установлено, что экстракт *V. album*, вводимый крысам с диабетом, снижал окислительный стресс и улучшал их общее состояние [71, 97].

Гипогликемическая и инсулинотропная активности экстракта *V. album* проявляются снижением уровня глюкозы в крови, а также увеличением секреции инсулина. Выявлено также снижение уровня липопротеинов низкой плотности и увеличение липопротеинов высокой плотности [98, 99].

НЕЙРОПРОТЕКТОРНЫЙ ЭФФЕКТ

Эпилепсия. Изучено противосудорожное действие экстрактов *V. album*, которое было вызвано блокаторм ГАМКА-рецепторов пентилентетразолом (PTZ), вводимым подкожно в виде водного раствора в дозе 80 мг/кг.

Животные (мыши-альбиносы) были рандомизированы на 5 групп: 1 — контрольная ($n = 20$), в которой животные получали внутрижелудочно воду очищенную (0.1 мл на 10 г); 2 — животные ($n = 8$), получали противосудорожный препарат вальпроат натрия в дозе 300 мг/кг; с 3 по 5 группу, животные ($n = 5–7$) получали сухие экстракты омелы. Экстракты вводили в желудок в виде водных растворов или тонких взвесей в дозе 100 мг/кг (объем 0.1 мл на 10 г массы тела) в профилактическом режиме в течение 2 дней, а последнюю дозу вводили за 30 мин до введения PTZ. В группе, получавшей референтный препарат вальпроат натрия, регистрировали такие изменения, как отчетливое снижение летальности и увеличение латентного периода судорог, уменьшение количества клонико-тонических приступов, снижение тяжести приступов и длительности судорожного периода.

Установлено, что введение водного экстракта *V. album*, растущей на клене и водно-этанольного экстракта *V. album*, растущей на липе, привело к отчетливому увеличению латентного периода судорог, уменьшению числа клонико-тонических приступов и продолжительности судорожного периода, а в группе, получавшей водно-этанольный экстракт *V. album*, растущий на липе, также отмечалось уменьшение выраженности судорог. Отмечено, что под влиянием этих экстрактов зна-

чительного снижения летальности не произошло [59, 62].

Болезнь Альцгеймера. Тесты *in vitro* показывают, что экстракты омелы ингибируют амилоидный β -белок, вызывая нейротоксичность в культивируемых нейронах коры головного мозга крыс, что может быть важным для лечения болезни Альцгеймера [58, 100, 101] и холинэстеразы [102]. Исследования *in vivo*, проведенные Е.Е. Екренуонг с соавторами [103] подтвердили нейропротекторную и стимулирующую способность *V. album*, растущей на апельсиновом дереве (Rutaceae: *Citrus sinensis* (L.) Osbeck), на модели болезни Альцгеймера, вызванной хлоридом алюминия.

Обнаружено, что при 21-дневном лечении водным экстрактом листьев *V. album* в дозе 100 мг/кг, происходило увеличение концентрации мозгового нейротрофического фактора BDNF, активация которого имеет решающее значение для выживания нейронов и нейрогенеза у мышей на фоне хлорида алюминия (150 мг/кг). Более того, уровень BDNF повышался у мышей, получавших

тот же экстракт и через 10 дней после введения $AlCl_3$. Кроме того, гистологические исследования коры головного мозга (обработанной хлоридом алюминия и экстрактом) показали, что экстракт увеличивает плотность нейронов и размер их популяции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обобщены данные по компонентному составу основных групп метаболитов омелы белой *Viscum album* L. (Viscaceae Bausch) с указанием конкретных соединений и основных видовых биологической активности. *V. album* является богатым источником биологически активных соединений, в особенности лектинов, которые характеризуются противоопухолевым действием; препараты на его основе часто назначаются как дополнительное средство для лечения больных раком во многих странах. Этот вид заслуживает всестороннего изучения и является перспективным для использования в отечественной медицине.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

см. REFERENCES

Component Composition and Some Features of the Biological Activity of *Viscum album* (Viscaceae)

S. L. Adzhiakhmetova^{a, *}, N. M. Chervonnaya^a, D. I. Pozdnyakov^a, O. I. Popova^a, E. T. Oganisyan^a

^aPyatigorsk Medical and Pharmaceutical Institute – branch of the Volgograd State Medical University, Pyatigorsk, Russia

*e-mail: similla503@mail.ru

Abstract—The review summarizes data on the chemical composition and some features of biological activity of *Viscum album* L. (Viscaceae Batsch). Among the secondary metabolites, the dominant ones are: viscotoxins, lectins, carbohydrates, amino acids, flavonoids, triterpene acids, nitrogenous compounds. It has been shown that European mistletoe extracts, as well as individual components, exhibit various types of biological activity, including antitumor, immunomodulatory, antidiabetic, and improve cognitive functions. *V. album* is very promising for further comprehensive study as a local source of herbal preparations, as mistletoe preparations are prescribed as an adjunct treatment for cancer patients in many countries.

Keywords: *Viscum album*, chemical composition, biological activity

REFERENCES

1. Nikiticheva Z.I. 1981. Viscaceae. — In: [Plant life. Flowering plants]. V. 5(2). Moscow. P. 327–329. (In Russian)
2. [Plant resources of the USSR: Flowering plants, their chemical composition and use. Families Rutaceae – Elaeagnaceae]. 1988. V. 4. Leningrad. P. 197–199. (In Russian)
3. Angiosperm Phylogeny Group. 2003. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG II. — Botanical Journal of the Linnean Society. 141(4): 399–436. <https://doi.org/10.1046/j.1095-8339.2003.t01-1-00158.x>
4. Angiosperm Phylogeny Group. 2009. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG III. — Botanical Journal of the Linnean Society. 161(2): 105–121. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.2009.00996.x>
5. Wu Z.Y., Raven P.H., Hong D.Y. 2003. Viscaceae. — In: Flora of China. V. 5. (Ulmaceae through Basellaceae). St. Louis. <http://flora.huh.harvard.edu/china/mss/volume05/index.htm>

6. Nickrent D.L. 1997. The Parasitic Plant Connection. <http://parasiticplants.siu.edu/>
7. Kleszken E., Timar A.V., Memete A.R., Miere (Groza) F., Vicas S.I. 2022. On overview of bioactive compounds, biological and pharmacological effects of mistletoe (*Viscum album* L.). — Pharmacophore. 13(1): 10–26. <https://doi.org/10.51847/Tmo2sXGQRs>
8. [Vascular plants of the Soviet Far East]. 1995. Saint Petersburg. V. 7. 395 p. (In Russian)
9. Walas L., Kędziora W., Ksepko M., Rabska M., Tomaszewski D., Thomas P.A., Wójcik R., Iszkuło G. 2022. The future of *Viscum album* L. in Europe will be shaped by temperature and host availability. — Sci. Rep. 12(1): 17072. PMID: ; PMCID: PMC9556578. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-21532-636224233>
10. Zuber D. 2004. Biological flora of Central Europe: *Viscum album* L. — Flora: Morphol. Distrib. Funct. Ecol. Plants. 199(3): 181–203. <https://doi.org/10.1078/0367-2530-00147>
11. Böhling N., Greuter W., Raus T., Snogerup B. 2002. Notes on the Cretan mistletoe, *Viscum album* subsp. creticum subsp. nova (Loranthaceae/Viscaceae). — Isr. J. Plant Sci. 50: 77–84.
12. Plants of the World Online. 2022. <https://powo.science.kew.org/taxon/urn:lsid:ipni.org:names:921668-1>
13. Zuber D., Widmer A. 2009. Phylogeography and host race differentiation in the European mistletoe (*Viscum album* L.). — Mol. Ecol. 18(9): 1946–1962. <https://doi.org/10.1111/j.1365-294x.2009.04168.x>
14. Popova O.I., Muravyeva D.A. 1996. [Mistletoe as a source of valuable pharmacologically active substances]. — Khimiko-farmatsevticheskoe proizvodstvo. Obzornaya informatsiya. Iss. 8. 36 p. (In Russian)
15. Muche M., Muasya A.M., Tsegay B.A. 2022. Biology and resource acquisition of mistletoes, and the defense responses of host plants. — Ecol. Process. 11(1): 24. <https://doi.org/10.1186/s13717-021-00355-9>
16. Bowie M., Ward D. 2004. Water and nutrient status of the mistletoe *Plicosepalus acacia* parasitic on isolated Negev Desert populations of *Acacia raddiana* differing in level of mortality. — J. Arid. Environ. 56(3): 487–508. [https://doi.org/10.1016/S0140-1963\(03\)00067-3](https://doi.org/10.1016/S0140-1963(03)00067-3)
17. Escher P., Eiblmeier M., Hetzger I., Rennenberg H. 2003. Seasonal and spatial variation of reduced sulphur compounds in mistletoes (*Viscum album*) and the xylem sap of its hosts (*Populus × euramericana* and *Abies alba*). — Physiol. Plant. 117(1): 72–78. <https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.2003.1170109.x>
18. Scalon M.C., Wright I.J. 2015. A global analysis of water and nitrogen relationships between mistletoes and their hosts: broad-scale tests of old and enduring hypotheses. — Funct. Ecol. 29(9): 1114–1124. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12418>
19. Schulze E.D., Ehleringer J. 1984. The effect of nitrogen supply on growth and water-use efficiency of xylem-tapping mistletoes. — Planta. 162(3): 268–275. <https://doi.org/10.1007/BF00397449>
20. Okubamichael D.Y., Griffiths M.E., Ward D. 2011. Host specificity, nutrient and water dynamics of the mistletoe *Viscum rotundifolium* and its potential host species in the Kalahari of South Africa. — J. Arid. Environ. 75(10): 898–902. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2011.04.026>
21. Marshall J.D., Ehleringer J.R. 1990. Are xylem-tapping mistletoes partially heterotrophic? — Oecologia. 84(2): 244–248. <https://doi.org/10.1007/BF00318279>
22. Marshall J., Ehleringer J., Schulze E.D., Farquhar G. 1994. Carbon isotope composition, gas exchange and heterotrophy in Australian mistletoes. — Funct. Ecol. 8(2): 237–241. <https://doi.org/10.2307/2389907>
23. Muravyeva D.A., Popova O.I., Gasparyan K.O. 1991. [Nitrogenous bases of mistletoe and Chinese parasol tree]. — Farmatsiya. 40(1): 16–17. (In Russian)
24. Popova O.I., Muravyeva D.A. 1990. [Polysaccharides of mistletoe (*Viscum album* L.)]. — Farmatsiya. 39(5): 41–44. (In Russian)
25. Popova O.I., Muravyeva D.A. 1992. Amino acid composition of mistletoe (*Viscum album* L.). — Farmatsiya. 41(3): 21–23. (In Russian)
26. Marvibaigi M., Supriyanto E., Amini N., Abdul Majid F.A., Jaganathan S.K. 2014. Preclinical and clinical effects of mistletoe against breast cancer. — BioMed Res. Int. Article ID 785479. <https://doi.org/10.1155/2014/785479>
27. Yousefyand S., Fattahi F., Hosseini S.M., Urech K., Schaller G. 2022. Viscotoxin and lectin content in foliage and fruit of *Viscum album* L. on the main host trees of Hyrcanian forests. — Sci. Rep. 12(1): 10383. PMID: PMCID: PMC9209439. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-14504-335725801>
28. Urech K., Baumgartner S. 2015. Chemical constituents of *Viscum album* L.: Implications for the pharmaceutical preparation of mistletoe. — In: Mistletoe: From mythology to evidence-based medicine. Transl. Res. Biomed. 4: P. 11–23. <https://doi.org/10.1159/000375422>

29. Debreczeni J.É., Girmann B., Zeeck A., Krätzner R., Sheldrick G. M. 2003. Structure of viscotoxin A3: Disulfide location from weak SAD data. — Acta Crystallogr. Sect. D. Structural Biology. D59(12): 2125–2132. <https://doi.org/10.1107/S0907444903018973>
30. Romagnoli S., Ugolini R., Fogolari F., Schaller G., Urech K., Giannattasio M., Ragona L., Molinari H. 2000. NMR structural determination of viscotoxin A3 from *Viscum album* L. — Biochem. J. 350(2): 569–577. <https://doi.org/10.1042/bj3500569>
31. Orrù S., Scaloni A., Giannattasio M., Urech K., Pucci P., Schaller G. 1997. Amino acid sequence, S–S bridge arrangement and distribution in plant tissues of thionins from *Viscum album*. — Biol. Chem. 378(9): 989–996. <https://doi.org/10.1515/bchm.1997.378.9.989>
32. Schaller G., Urech K., Giannattasio M. 1996. Cytotoxicity of different viscotoxins and extracts from the European subspecies of *Viscum album* L. — Phytother. Res. 10(6): 473–477. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1573\(199609\)10:6<473::AID-PTR879>3.0.CO;2-Q](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1573(199609)10:6<473::AID-PTR879>3.0.CO;2-Q)
33. Leusova N.Y., Katola V.M., Krylov A.V. 2008. Phytochemistry of *Viscum* plants (*Viscum* L.) and their medicinal properties. — Bulletin of physiology and pathology of respiration. 28: 69–73. <https://elibrary.ru/item.asp?id=9952356> (In Russian)
34. Olson T., Samuelsson G. 1972. The amino acid sequence of viscotoxin A2 from the European mistletoe (*Viscum album* L., Loranaceae). — Acta Chem. Scand. 26(2): 585–595. PMID: . <https://doi.org/10.3891/acta.chem.scand.26-05855035954>
35. Samuelsson G., Pettersson B.M. 1971. The disulfide bonds of viscotoxin A3 from the European mistletoe (*Viscum album* L., Loranaceae). — Acta Chem. Scand. 25(6): 2048–2054. PMID: . <https://doi.org/10.3891/acta.chem.scand.25-20484941626>
36. Samuelsson G., Pettersson B.M. 1971. The amino acid sequence of viscotoxin B from the European mistletoe (*Viscum album* L., Loranaceae). — Eur. J. Biochem. 21(1): 86–89. <https://doi.org/10.1111/j.1432-1033.1971.tb01443.x>
37. Koradi R., Billeter M., Wuthrich K. 1996. MOLMOL: a program for display and analysis of macromolecular structures. — J. Mol. Graph. 14(1): 51–55.
38. Nazaruk J., Orlikowski P. 2016. Phytochemical profile and therapeutic potential of *Viscum album* L. — Nat. Prod. Res. 30(4): 373–385. <https://doi.org/10.1080/14786419.2015.1022776>
39. Schaller G., Urech K., Grazi G., Giannattasio M. 1998. Viscotoxin composition of the three European subspecies of *Viscum album*. — Planta Med. 64(7): 677–678. <https://doi.org/10.1055/s-2006-957553>
40. Franz H., Ziska P., Kindt A. 1981. Isolation and properties of three lectins from mistletoe (*Viscum album* L.). — Biochem. J. 195(2): 481–484. <https://doi.org/10.1042/bj1950481>
41. Ochocka J.R., Piotrowski A. 2002. Biologically active compounds from European mistletoe (*Viscum album* L.). — Can. J. Plant Pathol. 24(1): 21–28. <https://doi.org/10.1080/07060660109506966>
42. Hajtő T., Hostanska K., Berki T., Pálkás L., Boldizsár F., Németh P. 2005. Oncopharmacological perspectives of a Plant Lectin (*Viscum album* agglutinin-I): overview of recent results from *in vitro* experiments and *in vivo* animal models, and their possible relevance for clinical applications. — Evid. Based Complementary Altern. Med. 2(1): 59–67. Article ID 574903. PMID: ; PMCID: PMC1062151. <https://doi.org/10.1093/ecam/neh05815841279>
43. Voelter W., Wacker R., Stoeva S., Tsitsilonis R., Betzel C. 2005. Mistletoe lectins, structure and function. — Frontiers in Natural Product Chemistry. 1: 149–162. <https://doi.org/10.2174/978160805212710501010149>
44. Seifert G., Jesse P., Laengler A., Reindl T., Lüth M., Lobitz S., Henze G., Prokop A., Lode H.N. 2008. Molecular mechanisms of mistletoe plant extract-induced apoptosis in acute lymphoblastic leukemia *in vivo* and *in vitro*. — Cancer Lett. 264(2): 218–228. <https://doi.org/10.1016/j.canlet.2008.01.036>
45. Thies A., Nugel D., Pfüller U., Moll I., Schumacher U. 2005. Influence of mistletoe lectins and cytokines induced by them on cell proliferation of human melanoma cells *in vitro*. — Toxicology. 207(1): 105–116. <https://doi.org/10.1016/j.tox.2004.09.009>
46. Fu L.L., Zhou C.C., Yao S., Yu J.Y., Liu B., Bao J.K. 2011. Plant lectins: targeting programmed cell death pathways as antitumor agents. — Int. J. Biochem. Cell. Biol. 43(10): 1442–1449. PMID: . <https://doi.org/10.1016/j.biocel.2011.07.00421798364>
47. Endo Y., Tsurugi K., Franz H. 1988. The site of action of the A-chain of mistletoe lectin I on eukaryotic ribosomes. The RNA N-glycosidase activity of the protein. — FEBS Lett. 231(2): 378–380. [https://doi.org/10.1016/0014-5793\(88\)80853-6](https://doi.org/10.1016/0014-5793(88)80853-6)

48. Liu B., Bian H., Bao J. 2010. Plant lectins: Potential antineoplastic drugs from bench to clinic. — *Cancer Lett.* 287(1): 1–12.
<https://doi.org/10.1016/j.canlet.2009.05.013>
49. Bantel H., Engels I.H., Voelter W., Schulze-Osthoff K., Wesselborg S. 1999. Mistletoe lectin activates caspase-8/FLICE independently of death receptor signaling and enhances anticancer drug-induced apoptosis. — *Cancer Res.* 59(9): 2083–2090. <https://aacrjournals.org/cancerres/article/59/9/2083/506086/Mistletoe-Lectin-Activates-Caspase-8-FLICE>
50. Kuttan G., Kuttan R. 1993. Reduction of leukopenia in mice by *Viscum album* administration during radiation and chemotherapy. — *Tumori.* 79(1): 74–76.
<https://doi.org/10.1177/030089169307900116>
51. Kaurinovic B., Vastag D. 2019. Flavonoids and phenolic acids as potential natural antioxidants. — In: *Antioxidants*. Intech Open.
<https://doi.org/10.5772/intechopen.83731>
52. Oganessian E.T., Shatokhin S.S. 2021. Using quantum chemical parameters for predicting the antiradical (HO[•]) activity of related structures containing a cinnamoyl fragment. IV. Structure-activity relationship between unsaturation indices and flavone derivatives with phloroglucin ring “A”. — *Farmatsiya i farmakologiya.* 9(2): 161–169.
<https://doi.org/10.19163/2307-9266-2021-9-2-161-169>
53. Jäger T., Holandino C., Melo M.N. de O., Peñaloza E.M.C., Oliveira A.P., Garrett R., Glauser G., Grazi M., Ramm H., Urech K., Baumgartner S. 2021. Metabolomics by UHPLC-Q-TOF reveals host tree-dependent phytochemical variation in *Viscum album* L. — *Plants.* 10(8): 1726. <https://www.mdpi.com/2223-7747/10/8/1726>
54. Kumar S., Pandey A.K. 2013. Chemistry and biological activities of flavonoids: an overview. — *Sci. World J.* Article ID 162750.
<https://doi.org/10.1155/2013/162750>
55. Gutiérrez-Grijalva E.P., Zamudio-Sosa V.E., Contreras-Angulo L.A., Leyva-López N., Heredia J.B. 2022. Bioaccessibility of phenolic compounds from mistletoe infusions and effect of *in vitro* digestion on its antioxidant and pancreatic lipase inhibitory activity. — *Foods.* 11(21): 3319.
<https://doi.org/10.3390/foods11213319>
56. Łuczkiwicz M., Cisowski W., Kaiser P., Ochocka R., Piotrowski A. 2001. Comparative analysis of phenolic acids in mistletoe plants from various hosts. — *Acta Pol. Pharm.* 58(5): 373–379.
<https://www.ptfarm.pl/wydawnictwa/czasopisma/acta-poloniae-pharmaceutica/110/-/12321>
57. Vicaș S.I., Rugina O.D., Leopold L., Pintea A., Socaci C. 2011. HPLC fingerprint of bioactive compounds and antioxidant activities of *Viscum album* from different host trees. — *Not. Bot. Horti Agrobot. Cluj. Napoca.* 39(1): 48–57.
<https://doi.org/10.15835/nbha3913455>
58. Haas K., Bauer M., Wollenweber E. 2003. Cuticular waxes and flavonol aglycones of mistletoes. — *Z. Naturforsch., C, J. Biosci.* 58(7–8): 464–470.
<https://doi.org/10.1515/znc-2003-7-803>
59. Szurpnička A., Zjawiony J.K., Szterk A. 2019. Therapeutic potential of mistletoe in CNS-related neurological disorders and the chemical composition of *Viscum* species. — *J. Ethnopharmacol.* 231: 241–252.
<https://doi.org/10.1016/j.jep.2018.11.025>
60. Pietrzak W., Nowak R., Gawlik-Dziki U., Lemieszek M.K., Rzeski W. 2017. LC-ESI-MS/MS identification of biologically active phenolic compounds in mistletoe berry extracts from different host trees. — *Molecules.* 22(4): 624.
<https://doi.org/10.3390/molecules22040624>
61. Deliorman Orhan D., Calis I., Ergun F. 2002. Two new flavonoid glycosides from *Viscum album* ssp. *album*. — *Pharm. Biol.* 40(5): 380–383.
<https://doi.org/10.1076/phbi.40.5.380.8460>
62. Tsyvunin V., Shtrygol S., Prokopenko Y., Georgiyants V., Blyznyiuk N. 2016. Influence of dry herbal extracts on pentylenetetrazole-induced seizures in mice: screening results and relationship “chemical composition – pharmacological effect”. — *ScienceRise, Pharm. Sci.* 1(1): 18–28.
<https://doi.org/10.15587/2519-4852.2016.71518>
63. Wagner H., Feil B., Seligmann O., Petricic J., Kalogjera Z. 1986. Phenylpropanes and lignans of *Viscum album* cardioactive drugs V¹. — *Planta Med.* 52(2): 102–104.
<https://doi.org/10.1055/s-2007-969090>
64. Deliorman D., Çaliş I., Ergun F., Tamer U. 1999. The comparative studies on phenylpropanoid glycosides of *Viscum album* subspecies by high performance liquid chromatography. — *J. Liquid. Chromatogr. Relat. Technol.* 22(20): 3101–3114.
<https://doi.org/10.1081/JLC-100102078>
65. Popova O.I., Murav'eva D.A. 1990. Ursolic acid from leafy shoots of *Viscum album*. — *Chem. Nat. Compd.* 26(3): 346.
<https://doi.org/10.1007/BF00597872>
66. Delebinski C.I., Twardziok M., Kleinsimon S., Hoff F., Mulsow K., Rolff J., Jäger S., Eggert A., Seifert G. 2015. A natural combination extract of *Viscum album* L. containing both triterpene acids and lectins is highly effective against AML *in vivo*. — *PLoS One.* 10(8): e0133892.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0133892>

67. Revyackaya A.P. 1966. [Technology of phytopreparations from mistletoe and development of methods for their analysis: Abstr. ... Dis. Cand. (Pharmacology) Sci.]. Lvov. 15 p. (In Russian)
68. Karrer W. 1958. Konstitution und Vorkommen der organischen Pflanzenstoffe (exclusive alkaloides). Basel. 1207 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-0348-6808-2>
69. [Methods of biochemical research of plants]. 1992. Leningrad. 456 p. (In Russian)
70. Chukwu C.N., Onyedikachi U.B., Ejiofor E. 2022. Evaluation of chemical constituents, antioxidant and anti-inflammatory properties of n-hexane extract of *Viscum album* L. (Mistletoe) leaves. — CMU J. Nat. Sci. 21(1): e2022010. <https://doi.org/10.12982/CMUJNS.2022.010>
71. Szurpnicka A., Kowalczyk A., Szterk A. 2020. Biological activity of mistletoe: *in vitro* and *in vivo* studies and mechanisms of action. — Arch. Pharm. Res. 43(6): 593–629. <https://doi.org/10.1007/s12272-020-01247-w>
72. Steele M.L., Axtner J., Happe A., Kröz M., Matthes H., Schad F. 2014. Safety of Intravenous Application of Mistletoe (*Viscum album* L.) Preparations in Oncology: An Observational Study. — Evid. Based Complementary Altern. Med. Article ID 236310. <https://doi.org/10.1155/2014/236310>
73. Rostock M. 2020. Die Misteltherapie in der Behandlung von Patienten mit einer Krebserkrankung [Mistletoe in the treatment of cancer patients]. — Bundesgesundheitsbl. 63: 535–540. (In German) <https://doi.org/10.1007/s00103-020-03122-x>
74. Lange-Lindberg A.M., Velasco Garrido M., Busse R. 2006. Mistletoe treatments for minimising side effects of anticancer chemotherapy. — GMS Health Technol. Assess. 2: Doc18 (20060919). PMID: 21289969; PMCID: PMC3011359. <http://www.egms.de/en/journals/hta/2006-2/hta000031.shtml>
75. Staupé H., Buentzel J., Keinki C., Buentzel J., Huebner J. 2022. Systematic analysis of mistletoe prescriptions in clinical studies. — J. Cancer. Res. Clin. Oncol. PMID: . <https://doi.org/10.1007/s00432-022-04511-236481925>
76. Freuding M., Keinki C., Micke O., Buentzel J., Huebner J. 2019. Mistletoe in oncological treatment: a systematic review: Part 1: survival and safety. — J. Cancer. Res. Clin. Oncol. 145(3): 695–707. PMID: . <https://doi.org/10.1007/s00432-018-02837-430673873>
77. Melzer J., Iten F., Hostanska K., Saller R. 2009. Efficacy and safety of mistletoe preparations (*Viscum album*) for patients with cancer diseases: a systematic review. — Forschende Komplementärmedizin / Research in Complementary Medicine. 16(4): 217–226. PMID: 19729932. <https://doi.org/10.1159/000226249>
78. Hajto T., Hostanska K., Weber K., Zinke H., Fischer J., Mengs U., Lentzen H., Saller R. 1998. Effect of a recombinant lectin, *Viscum album* agglutinin on the secretion of interleukin 12 in cultured human peripheral blood mononuclear cells and on NK-cell-mediated cytotoxicity of rat splenocytes *in vitro* and *in vivo*. — Nat. Immun. 16(1): 34–46. PMID: . <https://doi.org/10.1159/0000694289789123>
79. Lee C., Kim J., Kim H., Park S., Lee S. 2009. Immunomodulating effects of Korean mistletoe lectin *in vitro* and *in vivo*. — Int. Immunopharmacol. 9(13–14): 1555–1561. <https://doi.org/10.1016/j.intimp.2009.09.011>
80. Beuth J., Stoffel B., Ko H.L., Buss G., Tunggal L., Pulverer G. 1995. Immunostimulating activity of different dosages of mistletoe lectin-1 in patients with mammary carcinoma. — Arzneimittelforschung. 45(4): 505–507.
81. Enesel M.B., Acalovschi I., Grosu V., Sbarcea A., Rusu C., Dobre A., Weiss T., Zarkovic N. 2005. Perioperative application of the *Viscum album* extract Isorel in digestive tract cancer patients. — Anticancer Res. 25(6C): 4583–4590. PMID: . <https://ar.iiarjournals.org/content/25/6C/458316334146>
82. Maletzki C., Linnebacher M., Savai R., Hobohm U. 2013. Mistletoe lectin has a shiga toxin-like structure and should be combined with other Toll-like receptor ligands in cancer therapy. — Cancer Immunol. Immunother. 62(8): 1283–1292. <https://doi.org/10.1007/s00262-013-1455-1>
83. Huber R., Lüdtke H., Wieber J., Beckmann C. 2011. Safety and effects of two mistletoe preparations on production of Interleukin-6 and other immune parameters: a placebo controlled clinical trial in healthy subjects. — BMC Complement. Altern. Med. 11: 116. <https://doi.org/10.1186/1472-6882-11-116>
84. Ma Y.H., Cheng W.Z., Gong F., Ma A.L., Yu Q.W., Zhang J.Y., Hu C.Y., Chen X.H., Zhang D.Q. 2008. Active Chinese mistletoe lectin-55 enhances colon cancer surveillance through regulating innate and adaptive immune responses. — World J. Gastroenterol. 14(34): 5274–5281. <https://doi.org/10.3748/wjg.14.5274>
85. Kelter G., Schierholz J.M., Fischer I.U., Fiebig H.-H. 2007. Cytotoxic activity and absence of tumor growth stimulation of standardized mistletoe extracts in human tumor models *in vitro*. — Anticancer Res. 27(1A): 223–234. <https://ar.iiarjournals.org/content/27/1A/223>
86. Ramaekers F.C.S., Harmsma M., Tussenius K.J., Schutte B., Werner M., Ramos M. 2007. Mistletoe extracts (*Viscum album* L.) Iscador® interact with the cell cycle machinery and target survival mechanisms in cancer cells. — Medicina (Buenos Aires). 67(Suppl. II): 79–84. https://www.medicinabuenosaires.com/revistas/vol67-07/supl_2/v67_sup2_p79_84_.pdf

87. Drees M., Berger D.P., Dengler W.A., Fiebig G.H. 1996. Direct cytotoxic effects of preparations used as unconventional methods in cancer therapy in human tumor xenografts in the clonogenic assay and in nude mice. — In: Immunodeficient Animals: Models for Cancer Research. P. 115–122.
<https://doi.org/10.1159/000425240>
88. Orange M., Fonseca M., Lacey A., Laue H.B., von Geider S. 2010. Durable tumour responses following primary high dose induction with mistletoe extracts: Two case reports. — Eur. J. Integrat. Med. 2(2): 63–69.
<https://doi.org/10.1016/j.eujim.2010.04.001>
89. Huber R., Barth H., Schmitt-Gräff A., Klein R. 2000. Hypereosinophilia induced by high-dose intratumoral and peritumoral mistletoe application to a patient with pancreatic carcinoma. — J. Altern. Complement. Med. 6(4): 305–310.
<https://doi.org/10.1089/10755530050120664>
90. Mabed M., El-Helw L., Shamaa S. 2004. Phase II study of viscum fraxini-2 in patients with advanced hepatocellular carcinoma. — Br. J. Cancer. 90(1): 65–69.
<https://doi.org/10.1038/sj.bjc.6601463>
91. Pryme I.F., Bardocz S., Pusztai A., Ewen S.W.B. 2006. Suppression of growth of tumour cell lines *in vitro* and tumours *in vivo* by mistletoe lectins. — Histol. Histopathol. 21(1–3): 285–299. PMID: .
<https://doi.org/10.14670/HH-21.28516372250>
92. Zaenker K.S., Matthes H., Bock P.R., Hanisch J. 2012. A specific mistletoe preparation (Iscador-Qu®) in colorectal cancer (CRC) patients: more than just supportive care? — J. Cancer Sci. Ther. 4(9): 264–270.
<https://doi.org/10.4172/1948-5956.1000153>
93. Elluru S., Huyen J.-P.D., van Wootla B., Delignat S., Prost F., Negi V., Kaveri S. 2007. Tumor regressive effects of *Viscum album* preparations. Exploration of immunomodulatory mechanisms. — Medicina (Buenos Aires). 67(Suppl. II): 85–89.
http://medicinabuenosaires.com/revistas/vol67-07/supl_2/v67_sup2_p85_89_.pdf
94. Hajto T., Hostanska K., Fischer J., Saller R. 1997. Immunomodulatory effects of *Viscum album* agglutinin-I on natural immunity. — Anti-Cancer Drugs. 8(1): 43–46. PMID: .
<https://doi.org/10.1097/00001813-199704001-000109179367>
95. Tabiasco J., Pont F., Fournié J., Vercellone A. 2002. Mistletoe viscotoxins increase natural killer cell-mediated cytotoxicity. — Eur. J. Biochem. 269(10): 2591–2600.
<https://doi.org/10.1046/j.1432-1033.2002.02932.x>
96. Eno A.E., Ofem O.E., Nku C.O., Ani E.J., Itam E.H. 2008. Stimulation of insulin secretion by *Viscum album* (mistletoe) leaf extract in streptozotocin-induced diabetic rats. — Afr. J. Med. Med. Sci. 37(2): 141–147. PMID: .18939397
97. Turkkkan A., Savas H.B., Yavuz B., Yigit A., Uz E., Bayram N.A., Kale B. 2016. The prophylactic effect of *Viscum album* in streptozotocin-induced diabetic rats. — North Clin. Istanbul. 3(2): 83–89.
<https://doi.org/10.14744/nci.2016.22932>
98. Nwaegerue E., Nweke I.N., Ezeala C.C., Uneke P.C. 2007. Glucose lowering effect of leaf extracts of *Viscum album* in normal and diabetic rats. — J. Res. Med. Sci. 12(5): 235–240. <http://jrms.mui.ac.ir/index.php/jrms/article/view/564>
99. Shahaboddin M.E., Pouramir M., Moghadamnia A.A., Lakzaei M., Mirhashemi S.M., Motallebi M. 2011. Antihyperglycemic and antioxidant activity of *Viscum album* extract. — Afr. J. Pharm. Pharmacol. 5(3): 433–436.
<https://doi.org/10.5897/AJPP11.136>
100. Lee J.H., Cho S.O., Ban J.Y., Song K.-S., Seong Y.H. 2007. Neuroprotective effect of Korean mistletoe extract against damage induced by hydrogen peroxide in cultured rat cortical neurons Korean. — J. Med. Crop Sci. 15(2): 105–111.
<https://koreascience.kr/article/JAKO200736036956057.page?&lang=en>
101. Jang J.Y., Kim S.-Y., Song K.-S., Seong Y.H. 2015. Korean mistletoe (*Viscum album* var. coloratum) inhibits amyloid β protein (25–35)-induced cultured neuronal cell damage and memory impairment. — Nat. Prod. Sci. 21(2): 134–140.
<http://www.koreascience.or.kr/article/JAKO201525966573231.page>
102. Orhan D.D., Senol F.S., Hosbas S., Orhan I.E. 2014. Assessment of cholinesterase and tyrosinase inhibitory and antioxidant properties of *Viscum album* L. samples collected from different host plants and its two principal substances. — Ind. Crops Prod. 62: 341–349.
<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.08.044>
103. Ekpennyong E.E., Ayodele O.A., Linus E. 2016. *Viscum album* enhanced blood serum brain-derived neurotrophic factor (BDNF) level in experimental model of Alzheimer's disease. — World J. Pharm. Pharm. Sci. 5(3): 157–171.
https://www.wjpps.com/Wjpps_controller/abstract_id/4650

СТАТЬИ И СООБЩЕНИЯ
РЕСУРСЫ ПОЛЕЗНЫХ РАСТЕНИЙ
И РАСТИТЕЛЬНЫХ СООБЩЕСТВ

ЗАПАСЫ СЫРЬЯ ВИДОВ РОДА *ONOBRYCHIS* (FABACEAE)
В АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ РЕСПУБЛИКЕ

© 2023 г. Д. И. Исаев¹, Ш. Б. Джафарова², Н. Г. Мамедова¹, *

¹Азербайджанский Медицинский Университет, г. Баку, Азербайджан

²Азербайджанский Государственный Аграрный Университет, г. Гянджа, Азербайджан

*e-mail: nargiz1968@yahoo.com

Поступила в редакцию 06.02.2023 г.

После доработки 23.03.2023 г.

Принята к публикации 02.05.2023 г.

Изучены распространение и запасы видов рода *Onobrychis* Hill на территории Азербайджанской Республики. Определены площади зарослей и объемы возможных ежегодных заготовок 19 из 22 видов, представленных во флоре Азербайджана. Установлено, что эти виды занимают территорию общей площадью 1059.6 га, биологический запас надземной (травы/побеги) и подземной (корни) частей растений на исследованных территориях составляет соответственно 291.133/33.715 и 317.003 кг; эксплуатационный запас — 198.490/22.371 и 214.834 кг; объем ежегодных заготовок — 44.624/5.593 и 14.321 кг воздушно-сухого сырья.

Ключевые слова: *Onobrychis*, биологический запас, эксплуатационный запас, объем заготовок, Азербайджанская Республика

DOI: 10.31857/S0033994623030081, **EDN:** SMYTFA

Род эспарцет — *Onobrychis* Hill относится к семейству бобовых Fabaceae. В настоящее время описано более 170 видов эспарцета, распространенных в Европе, в юго-восточной Азии, в странах Средиземноморья. На территории Кавказа встречается 39 видов, а в Азербайджане — 22 вида этого рода [1, 2]. В культуре максимальное распространение получили 3 вида: эспарцет обыкновенный *Onobrychis viciifolia* Scop., эспарцет закавказский *O. transcaucasica* A. Grossh. и эспарцет песчаный *O. arenaria* (Kit.) DC. Эспарцеты культивируются как кормовые и декоративные растения. Представители рода *Onobrychis* — однолетние или многолетние травы или колючие кустарники. Эти растения имеют высокую ценность в животноводстве, являются ценными источниками белков и ферментов. В них содержится большое количество жиров, углеводов, белков и аминокислот. В последнее время из разных частей растений рода *Onobrychis* были получены кемпферол, кверцетин, рутин, изорамнетин, нарциссин, мирицетин, никотифлорин и др. флавоноиды, дубильные вещества, жирные масла, а также арбутин, афзелин и аскорбиновая кислота. Некоторые виды эспарцета обладают глистогонными свойствами (особенно против нематод), связанными с высоким содержанием в их составе дубильных веществ. Отвар из травы и корней эспарцетов в традиционной медицине применяют в качестве

иммуностимуляторов. Препараты из эспарцетов снижают уровень сахара и холестерина в крови, нормализуют деятельность желудочно-кишечного тракта, стимулируют перистальтику кишечника, укрепляют стенки кровеносных сосудов, обладают противовоспалительным, успокоительным действием. Эти растения применяются при аденоме предстательной железы, хроническом простатите, атеросклерозе, бессоннице, при язве желудка и двенадцатиперстной кишки и т.д. Препараты, в том числе гомеопатические, приготовленные на основе эспарцетов, способствуют выработке у мужчин тестостерона и андрогенов, улучшают эрекцию [3–6]. Эспарцеты — важный компонент ряда лекарственных препаратов, разработанных для лечения нарушений функционирования половых желез у женщин: дисфункции яичников, альгодисменореи, ювенильных кровотечений и пременопаузы.

Природа Азербайджанской Республики отличается большим разнообразием. В физико-географическом отношении территория страны подразделяется на четыре природных комплекса: горная область Большого Кавказа, горная область Малого Кавказа, Ленкоранская область и область Кура-Аразской низменности [7]. Ранее мы изучали запасы дикорастущих лекарственных растений Губинского горного массива, Дашкесанского р-на и восточной части горного массива Большо-

го Кавказа [8–11]. При изучении доступной литературы, нам не удалось обнаружить данные о запасах эспарцетов, произрастающих в Азербайджане.

Целью нашего исследования являлась ресурсная характеристика видов рода *Onobrychis*, произрастающих на территории Азербайджанской Республики, а также определение запасов их сырья с перспективой использования в медицине, фармации и других отраслях.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследовали ареалы распространения и определяли запасы сырья — надземной (у большинства исследованных видов — трава, у кустарничков — годичные побеги) и подземной (корни) частей — 22 видов рода *Onobrychis*, удовлетворяющих потребности ряда отраслей промышленности в районах массового произрастания. Исследование проводили в течение 5 лет (2018–2022 гг.). Для изучения ресурсов видов рода эспарцет использовали маршрутно-рекогносцировочный метод по общепринятой методике полевых геоботанических исследований [12, 13]. Маршруты экспедиции были составлены с таким расчетом, чтобы посетить наиболее вероятные и характерные места произрастания эспарцетов. Виды рода *Onobrychis* считают преимущественно степными растениями, но их также можно встретить на разнотравных лугах, полянах, опушках. Маршрутным методом были охвачены геоботанические районы: Губинский горный массив, восточные и западные части Большого Кавказа, центральные, северные и южные части Малого Кавказа, Нахичеванский горный массив, Зувандская (Диабар) впадина, Кура-Араксинская низменность, Степное плоскогорье, Самур-Дивичинская низменность. При маршрутных исследованиях выявляли характерные места обитания изучаемых видов и их заросли, определяли площади этих зарослей и объем запасов сырья на этих площадях. Маршруты составляли заранее на основании изучения схем административных и землепользовательских карт данного района, а также карт растительности Азербайджана, гербарного материала, хранящегося в Институте Ботаники Национальной Академии Наук Азербайджана, конкретные маршруты различных направлений намечали с учетом рельефа изучаемых районов.

Определение ресурсных показателей проводили на конкретных зарослях методом учетных площадок и модельных экземпляров. Учетные площадки закладывали таким образом, чтобы охватить всю заросль. Исследования проводили в фазу цветения растений. В исследуемых районах было проделано по 50 маршрутных ходов длиной 200 м и шириной 5 м, на которых в пределах отдельных зарослей закладывали по 15–25 учетных

площадок размером 1 × 1 м. Площадь заросли определяли, приравнивая ее очертания к геометрической фигуре (прямоугольнику, кругу), у которой измеряли необходимые параметры (длину, ширину, диаметр). Выход воздушно-сухого сырья из свежесобранных надземных частей растений составляет 27%, из корней — 34%. Биологический запас рассчитывали по верхнему пределу урожайности. Эксплуатационные запасы сырья на зарослях рассчитывали путем умножения площади заросли на нижний предел урожайности. Кроме того, определяли реально доступные запасы и объем возможных ежегодных заготовок, при определении которого учитывали период, необходимый для восстановления зарослей. Реально доступными запасами сырья считали запасы на массивах, пригодных для заготовки и транспортировки сырья [14]. Полученные данные обработаны статистически [13, 15]. Латинские названия растений уточняли на основе базы данных “International Plant Names Index (IPNI)” [16].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В 2018–2022 гг. в результате ресурсоведческих исследований, проведенных в ряде районов Азербайджана, где распространены представители рода *Onobrychis*, выявлено 22 дикорастущих вида этого рода. Отметим, что *O. heterophylla* С.А. Мей. и *O. vaginalis* С.А. Мей. являются эндемичными видами для Азербайджанской Республики, а 9 видов (*O. petraea* (M. Bieb. ex Willd.) Fisch., *O. biebersteinii* Širj., *O. iberica* Grossh., *O. hajastana* Grossh., *O. transcaucasica* Grossh., *O. cyri* Grossh., *O. radiata* (Desf.) M. Bieb., *O. bobrovii* Grossh., *O. komarovii* Grossh.) — эндемичными для территории Кавказа.

По типу жизненных форм *O. cornuta* (L.) Desv. относится к кустарникам, 3 вида (*O. caput-galli* (L.) Lam., *O. subacauli* Boiss. и *O. komarovii* Grossh.) — к однолетним или двулетним травянистым растениям, остальные 18 видов — к многолетним травянистым растениям. Заросли, пригодные для промысловой эксплуатации образуют 19 видов рода, распространенных достаточно широко, а 3 вида: *O. subacauli* Boiss. (эспарцет короткостебельный), *O. heliocarpa* Boiss. (эспарцет светлоплодный) и *O. altissima* A. Grossh. (эспарцет высочайший) встречаются редко.

Ниже приведена краткая ресурсоведческая характеристика изученных видов рода *Onobrychis*:

Onobrychis hohenackerana С.А. Мей. (эспарцет Гогенакера) распространен в районах горной Ленкорани, Диабар, южной части Малого Кавказа, в нижнем и среднем горных поясах. Встречается довольно часто в смешанных широколиственных лесах, с доминированием *Fagus orientalis* Lipsky. Часто образует небольшие по площади, но очень густые заросли. Плотность запаса воздуш-

но-сухого сырья надземных частей (травы) варьирует от 179 ± 17 до 301 ± 30 кг/га, корней — от 165 ± 14 до 288 ± 29 кг/га.

O. michauxii DC. (эспарцет Мишо) распространен в районах горной Нахичевани, центральной и южной частях Малого Кавказа, в нижнем и среднем горных поясах. В исследованных районах больших зарослей не образует. Встречается редко в луговых сообществах, на лесных полянах, в зарослях кустарников. Плотность запаса воздушно-сухого сырья надземных частей (травы) изменяется от 147 ± 13 до 189 ± 11 кг/га, корней — от 156 ± 17 до 297 ± 30 кг/га.

O. komarovii A. Grossh. (эспарцет Комарова) распространен в северной и южной частях Малого Кавказа, а также на Степном плоскогорье, в нижнем горном поясе. Часто встречается во всех исследованных районах на заболоченных высококотравных лугах, опушках смешанных лесов с доминированием *Paliurus spina-christi* Mill. (держидерево колючее) и смешанных широколиственных лесов с доминированием *Fagus orientalis*, на влажных берегах рек и ручьев. Плотность запаса воздушно-сухого сырья надземных частей (травы) изменяется от 77 ± 6 до 104 ± 11 кг/га, корней — от 64 ± 7 до 82 ± 8 кг/га.

O. bobrovii A. Grossh. (эспарцет Боброва) распространен в районах горной Губы, восточной части Большого Кавказа, в среднем горном поясе. Часто встречается во всех исследованных районах. Произрастает в редкостойных лесах, на опушках, вдоль дорог, на полянах, на склонах оврагов и по берегам рек. Наличие в исследованных районах больших зарослей этого вида позволяет ежегодно заготавливать значительное количество сырья. Плотность запаса воздушно-сухого сырья надземных частей (травы) изменяется от 264 ± 25 до 363 ± 35 кг/га, корней — от 244 ± 25 до 307 ± 29 кг/га.

O. vaginalis С.А. Меу. (эспарцет влагалищный) распространен в районах Гобустана, Апшерона, Кура-Аразской низменности и Степного плоскогорья, в нижнем горном поясе и на низменных участках. Во всех исследованных районах встречается довольно часто. Произрастает на сухих каменистых местах. Плотность запаса воздушно-сухого сырья надземных частей (травы) изменяется от 298 ± 30 до 375 ± 36 кг/га, корней — от 244 ± 24 до 311 ± 30 кг/га.

O. cornuta (L.) Desv. (эспарцет рогатый) распространен в районах горной Губы, восточной и западной частях Большого Кавказа, Диябаре, центральной и южной частях Малого Кавказа и горной Нахичевани, произрастает на разных высотах от среднего до субальпийского пояса. Очень широко распространен на всех исследованных территориях. Встречается на разнотравных лугах, лесных опушках и полянах, на каменистых и щеб-

нистых склонах и осыпях. Часто образует сплошные заросли. Плотность запаса воздушно-сухого сырья надземных частей (годовые побеги) изменяется от 155 ± 14 до 232 ± 23 кг/га, корней — от 127 ± 13 до 218 ± 21 кг/га.

O. caput-galli (L.) Lam. (эспарцет петушья голова) распространен в районах Гобустана, Степного плоскогорья и Кура-Аразской низменности, в нижнем горном поясе, реже на низменных территориях. Во всех исследованных районах встречается очень редко. Произрастает в травянистых сообществах на сухих, каменистых склонах. Плотность запаса воздушно-сухого сырья надземных частей (травы) изменяется от 97 ± 9 до 142 ± 15 кг/га, корней — от 90 ± 8 до 103 ± 10 кг/га.

O. petraea (M.B.) Fisch. (эспарцет скальный) распространен в районах горной Губы, Гобустана и восточной части Большого Кавказа, в среднем горном поясе. На исследованных территориях рассеянно встречается на суходольных и заливных лугах, в разреженных лесах, на лесных полянах и опушках. Плотность запаса воздушно-сухого сырья надземных частей (травы) изменяется от 281 ± 28 до 356 ± 34 кг/га, корней — от 296 ± 28 до 377 ± 38 кг/га.

O. biebersteinii G. Sirj. (эспарцет Биберштейна) распространен в восточной и западной частях Большого Кавказа, центральной и северной частях Малого Кавказа, в верхнем горном поясе. Встречается на разнотравных лугах, на щебнистых и каменистых склонах. Редко образует заросли. Плотность запаса воздушно-сухого сырья надземных частей (травы) изменяется от 218 ± 21 до 315 ± 32 кг/га, корней — от 254 ± 26 до 382 ± 39 кг/га.

O. cadmea Boiss. (эспарцет кадмийский) распространен в северной части Малого Кавказа и горной Нахичевани, в верхнем горном поясе. Встречается довольно редко на скалистых, задерненных склонах. Плотность запаса воздушно-сухого сырья надземных частей (травы) изменяется от 195 ± 20 до 267 ± 25 кг/га, корней — от 209 ± 20 до 295 ± 31 кг/га.

O. hayastana A. Grossh. (эспарцет армянский) распространен в горной Нахичевани, в среднем горном массиве. Встречается редко на каменистых и щебнистых склонах и на лесных опушках. Предпочитает открытые сухие места. Крупных зарослей не образует. Плотность запаса воздушно-сухого сырья надземных частей (травы) изменяется от 165 ± 16 до 246 ± 25 кг/га, корней — от 173 ± 18 до 273 ± 27 кг/га.

O. iberica A. Grossh. (эспарцет грузинский) распространен в районе горной Губы, западной и восточной частях Большого Кавказа, Самур-Девичинской низменности, северной части Малого Кавказа и Степного плоскогорья, в нижнем и среднем горных поясах. Встречается довольно часто в составе степных и луговых сообществ. Часто

образует небольшие по площади, но очень густые заросли. Плотность запаса воздушно-сухого сырья надземных частей (травы) изменяется от 290 ± 30 до 334 ± 34 кг/га, корней — от 277 ± 27 до 323 ± 32 кг/га.

O. transcaucasica A. Grossh. (эспарцет закавказский) распространен в районе Диябара, в горной Нахичевани, в центральной и северной частях Малого Кавказа до среднего горного пояса. Встречается довольно часто в травянистых сообществах на сухих, щебнистых склонах. Плотность запаса воздушно-сухого сырья надземных частей (травы) изменяется от 240 ± 24 до 312 ± 32 кг/га, корней — от 231 ± 24 до 298 ± 30 кг/га.

O. bungei Boiss. (эспарцет Бунге) распространен в районе Диябара и в центральной части Малого Кавказа, в нижнем и среднем горных поясах. Встречается в травянистых сообществах на щебнистых склонах. Плотность запаса воздушно-сухого сырья надземных частей (травы) изменяется от 154 ± 16 до 243 ± 23 кг/га, корней — от 149 ± 14 до 211 ± 22 кг/га.

O. cyri A. Grossh. (эспарцет куринский) распространен почти по всему Азербайджану. Часто встречается в горной Ленкорани, горной Нахичевани, в восточной и западной частях Большого Кавказа, центральной и южной частях Малого Кавказа до среднего горного пояса. Растет в травянистых сообществах на щебнистых, сухих склонах, в зарослях кустарников. Плотность запаса воздушно-сухого сырья надземных частей (травы) изменяется от 148 ± 13 до 254 ± 26 кг/га, корней — от 169 ± 17 до 223 ± 23 кг/га.

O. heterophylla C.A. Mey. (эспарцет разнолистный) распространен в районе Диябар и горной Нахичевани, в среднем горном поясе. Встречается на сухих склонах. Плотность запаса воздушно-сухого сырья надземных частей (травы) изменяется от 223 ± 22 до 296 ± 30 кг/га, корней — от 206 ± 20 до 266 ± 27 кг/га.

O. buhseana Bunge (эспарцет Бузе) распространен в низменной и горной Нахичевани, в нижнем и среднем горных поясах. Встречается на каменистых склонах и на известковых осыпях. Плотность запаса воздушно-сухого сырья надземных частей (травы) изменяется от 162 ± 17 до 231 ± 24 кг/га, корней — от 141 ± 14 до 201 ± 20 кг/га.

O. atropatana Boiss. (эспарцет северо-иранский) широко распространен в горной и низменной Нахичевани и в южной части Малого Кавказа, в нижнем и среднем горных поясах, в сообществах пойменных лугов, довольно часто, небольшими группами — на опушках лесов, на пустырях и выгонах. Плотность запаса воздушно-сухого сырья надземных частей (травы) изменяется от 118 ± 11 до 166 ± 17 кг/га, корней — от 98 ± 10 до 155 ± 16 кг/га.

O. radiata M. B. (эспарцет лучистый) распространен в районе горной Нахичевани, в северной,

южной и центральной частях Малого Кавказа и на Куринской низменности, в нижнем и среднем горных поясах. Встречается довольно часто на каменистых местах, сухих щебнистых склонах. Часто образует небольшие по площади, но очень густые заросли. Плотность запаса воздушно-сухого сырья надземных частей (травы) изменяется от 169 ± 16 до 232 ± 23 кг/га, корней — от 145 ± 15 до 200 ± 20 кг/га.

O. altissima A. Grossh. (эспарцет высочайший) распространен в районе Диябара, в среднем и субальпийском поясах. Встречается редко на разнотравных лугах.

O. subacaulis Boiss. (эспарцет короткостебельный) распространен в горной и низменной Нахичевани, на равнине и в нижнем горном поясе. Встречается редко на каменистых и щебнистых склонах, в засоленных местах.

O. heliocarpa Boiss. (эспарцет светлоплодный) встречается очень редко в низменной части Нахичевани, на равнине, на каменистых и щебнистых местах.

Данные о запасах сырья, географических координатах, высоте распространения исследованных видов приведены в таблице. Было установлено, что наиболее богаты видами рода *Onobrychis* восточная и западная части Большого Кавказа, северная и южная части Малого Кавказа, горная Нахичевань и Диябар. Отмечена приуроченность зарослей эспарцетов к определенным местообитаниям. Благоприятными для их развития и цветения являются нижний и средний горные пояса, реже субальпийские луга, имеющие достаточную влажность.

Заготовку сырья следует вести в период от конца бутонизации до конца массового цветения, сначала в предгорном и низнегорном поясах (конец мая—начало июня), а затем в средне- и высокогорном поясах (конец июня—начало июля). Достаточно высокая точность учета урожая эспарцетов на отдельных участках обеспечивается при закладке 20 площадок размером 1 м^2 .

В заключение следует отметить, что, несмотря на большие природные запасы сырья 19 видов рода *Onobrychis* в Азербайджане, при нерациональном подходе к вопросу заготовок заросли могут быть быстро истощены и уничтожены. Поэтому заготовку сырья этих видов необходимо поручить специально подготовленным сборщикам. Результаты нашей работы могут быть использованы при планировании заготовок сырья. Целесообразно также организовать охрану *O. subacaulis* Boiss. (эспарцет короткостебельный), *O. heliocarpa* Boiss. (эспарцет светлоплодный) и *O. altissima* A. Grossh. (эспарцет высочайший), которые имеют на территории Азербайджана недостаточные запасы для промысловых заготовок, возможно из-за воздействия на растения антропогенного фактора.

Таблица 1. Урожайность и запасы воздушно-сухого сырья видов рода *Onobrychis* Hill, произрастающих в Азербайджане**Table 1.** Yield and resources of the air-dry raw material of the species from the genus *Onobrychis* Hill, growing in Azerbaijan

Вид Species	Лекарственное сырье Medicinal raw material	Высота, м Elevation, m	Координаты Coordinates	Суммарная площадь зарослей, га Total area of thickets, ha	Запас воздушно-сухого сырья, кг Stock of air-dry raw material, kg		Объем возможных ежегодных заготовок, кг Potential volume of annual harvest, kg
					биологический biological	эксплуатационный exploitable	
<i>Onobrychis hohenackeriana</i>	Трава Herb	2100	38°65'99.1" N 48°42'37.9" E	35.0	11.771	7.879	1.970
	Корни Roots				10.087	6.741	0.449
<i>O. michauxii</i>	»	2840	40°62'62.0" N 45°57'85.0" E	21.7	4.312	2.992	748.0
	»				4.440	2.964	0.198
<i>O. komarovii</i>	»	1990	40°45'47.8" N 45°68'04.7" E	16.0	1.811	1.267	317.0
	»				1.459	1.018	0.068
<i>O. bobrovii</i>	»	1130	41°24'76.8" N 48°54'16.3" E	90.2	35.169	23.659	5.915
	»				32.265	21.910	1.461
<i>O. vaginalis</i>	»	650	40°36'58.7" N 49°76'80.2" E	80.4	32.771	21.901	5.475
	»				28.446	19.280	1.285
<i>O. caput-galli</i>	»	450	40°84'03.1" N 47°35'58.8" E	18.5	2.579	1.787	447.0
	»				2.131	1.473	0.098
<i>O. petraea</i>	»	1300	41°20'37.8" N 48°23'98.5" E	71.9	26.704	18.536	4.634
	»				28.019	19.190	1.279
<i>O. biebersteinii</i>	»	1800	41°66'75.3" N 46°74'37.4" E	58.0	20.172	14.187	3.547
	»				24.134	16.431	1.095
<i>O. cadmea</i>	»	2140	39°48'57.6" N 45°59'56.6" E	42.6	12.307	8.405	2.101
	»				14.224	9.453	0.630
<i>O. hayastana</i>	»	2300	39°42'29.3" N 45°73'40.2" E	32.9	8.557	5.873	1.468
	»				9.656	6.511	0.434
<i>O. iberica</i>	»	250	41°31'52.1" N 49°03'85.1" E	113.7	43.058	29.596	7.399
	»				42.592	28.311	1.887
<i>O. transcaucasica</i>	»	2210	38°52'74.9" N 48°56'95.3" E	68.2	24.006	16.532	4.133
	»				22.308	15.461	1.031
<i>O. bungei</i>	»	1440	38°71'61.9" N 48°42'55.0" E	19.5	4.914	3.292	823.0
	»				4.616	3.118	0.208
<i>O. cyri</i>	»	860	39°33'64.2" N 48°47'99.2" E	129.7	34.020	22.970	5.743
	»				31.154	20.882	1.392
<i>O. heterophylla</i>	»	2360	39°10'548.2" N 45°93'96.7" E	33.4	10.541	7.188	1.797
	»				9.693	6.393	0.426

Таблица 1. Окончание

Вид Species	Лекарственное сырье Medicinal raw material	Высота, м Elevation, m	Координаты Coordinates	Суммарная площадь зарослей, га Total area of thickets, ha	Запас воздушно-сухого сырья, кг Stock of air-dry raw material, kg		Объем возможных ежегодных заготовок, кг Potential volume of annual harvest, kg
					биологический biological	эксплуатационный exploitable	
<i>O. buhseana</i>	»	440	39°97'56.9" N	16.5	3.884	2.670	668.0
	»		45°95'40.9" E		3.486	2.364	0.158
<i>O. atropatana</i>	»	1790	39°21'49.7" N	21.8	3.817	2.500	625.0
	»		45°82'56.9" E		3.272	2.287	0.152
<i>O. radiata</i>	»	210	40°61'22.6" N	44.9	10.740	7.256	1.814
	»		47°25'20.3" E		9.541	6.506	0.434
<i>O. cornuta</i>	Побеги Shoots	760	40°12'50.8" N	144.7	33.715	22.371	5.593
	Корни Roots		49°33'72.0" E		35.480	24.541	1.636
Всего по Азербайджану Total for Azerbaijan	Трава/побеги Herb/shoots			1059.6	291.133/33.715	198.490/22.371	44.624/5.593
	Корни Roots				317.003	214.834	14.321

ВЫВОДЫ

Исследование ресурсов 22 видов рода *Onobrychis* Hill в разных районах Азербайджанской Республики, проведенного в 2018–2022 гг., позволяют сделать следующие выводы.

1. Из 22 дикорастущих видов эспарцета, 19 достаточно широко распространены, а 3 вида: *O. subacaulis* Boiss. (эспарцет короткостебельный), *O. heliocarpa* Boiss. (эспарцет светлоплодный) и *O. altissima* A. Grossh. (эспарцет высочайший) встречаются редко и нуждаются в охране.

2. Общая площадь зарослей видов рода *Onobrychis* на исследованной территории составила 1059.6 га. Биологический запас надземной части составил 324.848 кг (трава — 291.133 кг, побеги — 33.715 кг), подземной части (корни) — 317.003 кг. Эксплуатационный запас надземной части соста-

вил 220.861 кг (трава — 198.490 кг, побеги — 22.371 кг), подземной части — 214.834 кг. Объем ежегодных заготовок надземной части: трава — 44.624 кг, побеги — 5.593 кг; подземной части — 14.321 кг воздушно-сухого сырья.

3. Наибольшим объемом возможных ежегодных заготовок сырья отличаются 8 видов: *O. iberica* (надземная часть — 7.39 кг, подземная — 1.88 кг), *O. bobrovii* (соответственно 5.91 и 1.46 кг), *O. cyri* (5.74 и 1.39 кг), *O. cornuta* (5.59 и 1.63 кг), *O. vaginalis* (5.47 и 1.28 кг), *O. petraea* (4.63 и 1.27 кг), *O. transcaucasica* (4.13 и 1.03 кг) и *O. biebersteinii* (3.54 и 1.09 кг).

Результаты наших исследований могут быть использованы при планировании заготовок дикорастущих видов рода *Onobrychis* в Азербайджанской Республике.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Флора Азербайджана. 1954. Т. 8. Баку. С. 458–471.
2. Растительные ресурсы России. Дикорастущие цветковые растения, их компонентный состав и биологическая активность. 2010. Т. 3. Семейства Fabaceae — Apiaceae. СПб.; М. 608 с.
3. Мовсумов И.С., Гараев Э.А. 2010. Изучение химических компонентов некоторых растений из флоры Азербайджана с целью получения биологически активных веществ. — Химия раст. сырья. 3: 5–10.
<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=15340654>

4. Manolarki F., Sotiraki S., Stefanakis A., Skampardonis V., Volanis M., Hoste H. 2010. Anthelmintic activity of some Mediterranean browse plants against parasitic nematodes. — *Parasitology*. 137(4): 685–696. <https://doi.org/10.1017/S0031182009991399>
5. Regos I. 2014. Chemical characterisation of low molecular weight phenolic compounds from the forage legume sainfoin (*Onobrychis viciifolia*). München. 123 p. <https://mediatum.ub.tum.de/doc/1190505/1190505.pdf>
6. Tarasenko N.A., Butina E.A., Gerasimenko E.O. 2015. Peculiarities of chemical composition of sainfoin seeds powder. — *Orien. J. Chem.* 31(3): 1673–1682.
7. Прилипко Л.И. 1970. Растительный покров Азербайджана. Баку. 170 с.
8. Исаев Д.И. 2004. Ресурсы дикорастущих лекарственных растений высокогорий Талыша. — *Раст. ресурсы*. 40(4): 80–85. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17076547>
9. Исаев Д.И. 2005. Ресурсы дикорастущих лекарственных растений Загатайского района (Азербайджан). — *Раст. ресурсы*. 41(2): 73–80. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=9150191>
10. Исаев Д.И., Керимов Ю.Б. 2005. Ресурсы дикорастущих лекарственных растений Губинского горного массива (Азербайджан). — *Раст. ресурсы*. 41(1): 82–90. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=9144681>
11. Гурбанова Э.Э., Гаджиев В.Д., Исаев Д.И., Мамедова Н.Г. 2009. Ресурсы лекарственных растений флоры Дашкесанского района Азербайджана. — *Раст. ресурсы*. 45(1): 60–64. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17013588>
12. Буданцев А.Л., Харитонова Н.П. 1999. Ресурсоведение лекарственных растений. Санкт-Петербург. 88 с.
13. Крылова И.Л., Шретер А.И. 1971. Методические указания по изучению запасов дикорастущих лекарственных растений. М. 22 с.
14. Правила сбора и сушки лекарственных растений (сборник инструкций). 1985. М. 328 с.
15. Бараз В.Р., Пегашкин В.Ф. 2014. Использование MS Excel для анализа статистических данных: учебное пособие. Нижний Тагил. 182 с.
16. IPNI: The International Plant Names Index. 2012. <http://www.ipni.org>

Stocks of *Onobrychis* (Fabaceae) Raw Materials in the Republic of Azerbaijan

J. I. Isaev^a, Sh. B. Jafarova^b, N. H. Mammadova^a *

^aAzerbaijan Medical University, Baku, Azerbaijan

^bAzerbaijan State Agrarian University, Ganja, Azerbaijan

*e-mail: nargiz1968@yahoo.com

Abstract—The distribution areas and resources of *Onobrychis* Hill species (the sainfoins) in Azerbaijan were studied. The areas of thickets and the volumes of potential annual harvesting of 19 species, out of 22 common for Azerbaijan, were determined. It was found that sainfoins occupy an area of 1059.6 ha. The biological stock of the above-ground (herb and shoots) and underground (roots) parts in the studied areas is 291.133, 33.715 kg and 317.003 kg, respectively; the exploitable volume is 198.490, 22.371 kg and 214.834 kg, respectively; the potential volume of annual harvesting is 44.624, 14.321 and 5.593 kg of air-dry raw materials, respectively.

Keywords: *Onobrychis*, sainfoins, biological resources, exploitable volume, annual harvesting, Azerbaijan

REFERENCES

1. [Flora of Azerbaijan]. 1954. Т. 8. Баку. Р. 458–471. (In Russian)
2. [Plant Resources of Russia: Wild flowering plants, their component composition and biological. Family Fabaceae – Apiaceae]. 2010. Vol. 3. St. Petersburg; Moscow. 608 p. (In Russian)
3. Movsumov I.S., Garaev E.A. 2010. [Study of the chemical components of some plants from Azerbaijan for the purpose of obtaining biologically active substances]. — *Khimija Rastitel'nogo Syrja*. 3: 5–10. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=15340654> (In Russian)
4. Manolarki F., Sotiraki S., Stefanakis A., Skampardonis V., Volanis M., Hoste H. 2010. Anthelmintic activity of some Mediterranean browse plants against parasitic nematodes. — *Parasitology*. 137(4): 685–696. <https://doi.org/10.1017/S0031182009991399>
5. Regos I. 2014. Chemical characterisation of low molecular weight phenolic compounds from the forage legume sainfoin (*Onobrychis viciifolia*). München. 123 p. <https://mediatum.ub.tum.de/doc/1190505/1190505.pdf>
6. Tarasenko N.A., Butina E.A., Gerasimenko E.O. 2015. Peculiarities of chemical composition of sainfoin seeds powder. — *Orien. J. Chem.* 31(3): 1673–1682. <https://doi.org/10.13005/ojc/310346>
7. Prilipko L.I. 1970. [Vegetation cover of Azerbaijan]. Баку. 170 p. (In Russian)

8. *Isaev D.I.* 2004. Resources of wild medicinal herbs of the Talysh high mountains. — *Rastitelnye resursy*. 40(4): 80–85. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17076547> (In Russian)
9. *Isaev D.I.* 2005. [Resources of wild medicinal plants of Zagatala region (Azerbaijan)]. — *Rastitelnye resursy*. 41(2): 73–80. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=9150191> (In Russian)
10. *Isaev D.I., Kerimov Yu.B.* 2005. Stores of wild-growing herbs of the Gubinsk mountain massif (Azerbaijan). — *Rastitelnye resursy*. 41(1): 82–90. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=9144681> (In Russian)
11. *Gurbanova E.E., Gadzhiev V.D., Isaev D.I., Mamedova N.G.* 2009. Natural resources of medical plants of Dashkesen district of Azerbaijan. — *Rastitelnye resursy*. 45(1): 60–64. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17013588> (In Russian)
12. *Budantsev A.L., Kharitonova N.P.* 1999. [Resource studies of medicinal plants]. St. Petersburg. 88 p. (In Russian)
13. *Krylova I.L., Shreter A.I.* 1971. [Guidelines for the study of stocks of wild medicinal plants]. Moscow. 22 p. (In Russian)
14. [Rules for the collection and drying of medicinal plants (instruction book)]. 1985. Moscow. 328 p. (In Russian)
15. *Baraz V.R., Pegashkin V.F.* 2014. [Using MS Excel to analyze statistical data analysis: training manual]. Nizhny Tagil. 182 p. (In Russian)
16. *IPNI*: The International Plant Names Index. 2012. <http://www.ipni.org>

ВВЕДЕНИЕ В КУЛЬТУРУ *IN VITRO* *LESPEDeza DAVURICA* (FABACEAE)© 2023 г. Т. Е. Лончакова¹, *, А. С. Пьянова¹, К. С. Бердасова¹¹Ботанический сад-институт ДВО РАН, г. Владивосток, Россия

*e-mail: yashma135@mail.ru

Поступила в редакцию 18.04.2023 г.

После доработки 25.04.2023 г.

Принята к публикации 02.05.2023 г.

Впервые введен в культуру *in vitro* редкий вид *Lespedeza davurica* (Laxm.) Schindl, произрастающий на территории Российской Федерации. Предложен ряд биотехнологических приемов, позволяющих размножить растения с помощью образования пазушных побегов: подобран эффективный метод стерилизации, опробованы различные питательные среды. Среда Мурасиге и Скуга без регуляторов роста подходит для культивирования и микрклонального размножения исследуемого вида, с добавлением тидиазурона может использоваться для получения дополнительного растительного материала. Результаты исследования представляют интерес для фундаментальных и прикладных аспектов изучения *L. davurica*.

Ключевые слова: *Lespedeza davurica*, редкий вид, культура *in vitro*, прорастание семян, микрклональное размножение, тидиазурон

DOI: 10.31857/S003399462303010X, EDN: RTERSC

Леспедеца даурская (*Lespedeza davurica* (Laxm.) Schindl.) — декоративный полукустарничек семейства бобовых. Представляет собой многолетнее растение до 80 см высотой с несколькими прямостоячими или восходящими, в основании одревесневающими стеблями. Листья тройчатые, на черешках; листочки до 3(4) см длиной и 2 см шириной, овально-продолговатые, на верхушке с шипиком, сверху рассеянно, снизу более густо-прижато-волосистые. Цветки в укороченных густых пазушных кистях. Имеются клейстогамные цветки [1, 2]. Венчик белый или желтоватый, с фиолетовым пятном на лодочке и фиолетовыми жилками на флаге. Бобы вдвое короче чашечки, округло-яйцевидные, густоволосистые. Цветет в августе, плоды созревают в сентябре—октябре, размножается семенами. Растет на сухих остепненных каменистых склонах, а также на песчано-галечниковых берегах рек, поодиночке или группами [2].

В России встречается на юге Дальнего Востока (Приморском крае, Амурской области, Еврейской автономной области) [1, 2] и в Восточной Сибири [3]; вне Российской Федерации — в Монголии, Китае, Корее и Японии [4]. Леспедеца даурская внесена в Красные книги Приморского края [5] и Амурской области [6].

В род *Lespedeza* входят 3 вида лекарственных растений — леспедеца головчатая (*L. capitata* Michx.), леспедеца двуцветная (*L. bicolor* Turcz.) и леспедеца копеечниковая (*L. juncea* (L. f.) Pers.) [7].

Активно ведутся исследования леспедецы даурской, произрастающей на территории Китая. Так, были исследованы морфология корней [8], фотосинтетическая активность [9], накопление натрия и фтора [10], биология опыления [11], газообмен и флуоресценция хлорофилла в листьях [12]. Проводилось сравнение продуктивности популяций леспедецы даурской [13] и наблюдения за процессом роста растений [14]. Проведены исследования влияния экологических факторов на развитие *L. davurica*: интенсивность выпаса скота на территории произрастания вида [15], внесение азота и густота посадки [16], влажность почвы, на которой произрастает вид [17].

При совместной работе исследователей из Республики Корея и Соединенных Штатов Америки было установлено, что экстракт *L. davurica* может защищать от повреждения β-клетки поджелудочной железы и регулировать уровень глюкозы в крови при диабете [18], что указывает на возможность применения сырья исследованного растения в медицине.

Леспедеца даурская, произрастающая на территории Российской Федерации, слабо изучена. В работе О.Г. Потаниной, С. Буджаповой и И.А. Самылиной исследовано анатомическое строение листа, черешка и стебля *L. davurica* под световым микроскопом, на основании чего выявлены анатомо-диагностические признаки растения [19].

Леспедеца даурская имеет хозяйственную ценность и лекарственный потенциал, но мало используется, что, скорее всего, обусловлено, согласно сообщениям М.Г. Николаевой с соавт., наличием у представителей рода *Lespedeza* высокого процента твердых семян [20]. Авторы указывают на необходимость скарификации семян при проращивании представителей исследованного рода с помощью механического повреждения или использования серной кислоты. Вероятно, *L. davurica* накапливает кратковременный семенной банк в почве, но его не всегда хватает для эффективного возобновления. В связи с этим возникает необходимость дополнительных мер по сохранению *L. davurica*. Одним из инструментов, принятых для сохранения редких видов, может служить технология введения в культуру *in vitro*. Поскольку исследования, касающиеся особенностей культивирования *in vitro* леспедецы даурской, в литературе отсутствуют, эта тема представляет научный интерес.

Цель исследования — разработка методов введения в культуру *in vitro* редкого вида *L. davurica*: подбор эффективного способа стерилизации семян, посев семян и получение всходов, подбор питательной среды для культивирования растений *in vitro*, сравнение развития растений на средах свободной от регуляторов роста и с добавлением тидиазурина.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В качестве первичных эксплантов были использованы зрелые семена *L. davurica*, собранные на окраине пос. Синельниково (Октябрьский р-он Приморского края) для получения стерильной культуры *in vitro*. Эксперимент проводили в 4-х повторностях.

Приготовление питательных сред

Для приготовления питательных сред использовали сахарозу, макро- и микроэлементы, хелат железа, витамины и агар по прописи Мурасиге и Скуга [21]. Перед автоклавированием pH среды повышали до 5.7–5.8 раствором гидроксида калия. Автоклавирование проводили при 121 °C, 1 атм. за 20 мин. После автоклавирования в часть приготовленной среды добавляли регулятор роста тидиазурон (TDZ). Среда разливали в стерильные пробирки по 10 мл.

Стерилизация семян

Перед стерилизацией семена обрабатывали серной кислотой в течение 25 мин, после чего промывали дистиллированной водой 5 раз по 30 с. Стерилизацию проводили следующим образом: часть семян обрабатывали 0.1%-ным раствором нитрата серебра, другую часть — 1%-ным раство-

ром нитрата серебра, время экспозиции для обеих концентраций составляло 25 мин. После чего все семена обрабатывали 1%-ным раствором хлорида натрия в течение 15 мин и ополаскивали дистиллированной водой 3 раза по 30 с.

Посев семян

После стерилизации семена высаживали на среды Мурасиге и Скуга без регуляторов роста (MS⁰), Мурасиге и Скуга с добавлением 0.5 и 0.1 мг/л тидиазурина (MS + TDZ). Посев семян проходил в стерильном ламинарном боксе при потоке воздуха и горячей спиртовке. Семена помещали по 1 шт. в пробирку и запечатывали фольгой.

Условия культивирования

Для культивирования пробирки с эксплантами помещали в культуральную комнату с освещением 2000–3000 люкс с холодным белым люминесцентным светом (Philips, Польша), температурой 23 ± 2 °C и 16-часовым фотопериодом.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Нами отмечена высокая эффективность стерилизации семян *L. davurica* при использовании в качестве основного стерилизующего агента нитрата серебра (96–100%). Семена начинали прорастать на 3 сут культивирования, на 4 сут отмечали массовое прорастание семян. При культивировании на среде MS⁰ прорастало 82.2% посеянных семян *L. davurica*, на среде MS + TDZ — 73.3%. Общая всхожесть всех изученных семян составила 78.8%. У семян, хранившихся после сбора более 3 лет на момент начала эксперимента, некоторые проростки останавливались в развитии на стадии прорастания корня или стебля.

У большинства проростков *L. davurica*, полученных из семян, хранившихся менее 3 лет, к концу первой недели культивирования появляются семядоли, а к концу второй недели — настоящие листья. Закономерностей влияния TDZ на образование листьев не выявлено. На рисунке показано прорастание семян и первые стадии формирования проростка *L. davurica* в условиях *in vitro*.

На 3–4 нед. культивирования проростков *L. davurica* стали видны различия в морфологии растений на разных средах. На среде MS⁰ растения имели вытянутые междоузлия и тонкие ветвящиеся корни, у растений на среде MS + TDZ междоузлия были укороченные, корни толстые, короткие и слабо ветвящиеся. На среде с низкой концентрацией TDZ (0.1 мг/л) повреждение проростков было менее выражено — встречались проростки с нор-

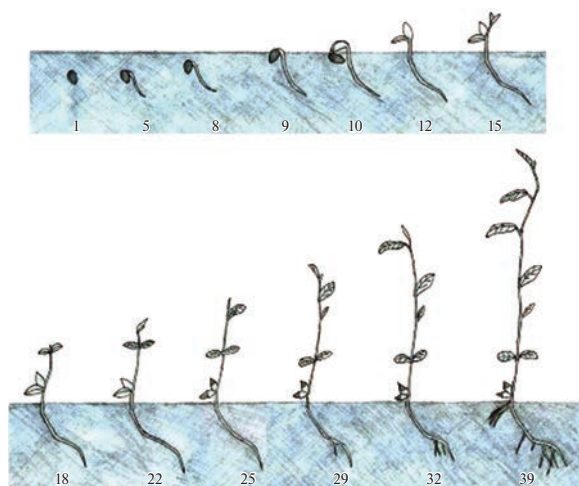


Рис. 1. Прорастание семян и первые стадии формирования проростка *Lespedeza davurica* в условиях *in vitro*. Цифрами обозначены сутки культивирования.

Fig. 1. Seed germination and the first stages of *Lespedeza davurica* seedling formation under *in vitro* conditions. The numbers indicate the days of cultivation.

мально развитыми побегами, их корни ветвились, но были укорочены.

Показано, что проростки могут начать образовывать пазушные побеги к концу первой недели культивирования. Образование боковых пазушных побегов неравномерно — на одних растениях нет ни одного побега, тогда как на других образуется 6 и более побегов, из чего следует, что множественное побегообразование носит случайный характер. В первый месяц культивирования у большинства растений на всех средах формируются 1–3 пазушных побега.

Отросшие развитые пазушные побеги, после появления на них листьев, отделяли и переносили в другие пробирки на среду MS⁰. Большинство побегов дало здоровые корни и продолжило разви-

тие. Отметим, что у побегов, отделенных от растений *L. davurica*, находившихся на среде MS⁰, и побегов растений, находившихся на среде MS + TDZ, в морфологии корней различий не обнаружено. Образовавшиеся корни были не укорочены, хотя материнские растения, развивавшиеся на среде MS + TDZ, имели укороченные плохо развитые корни.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследованы особенности культивирования *in vitro* редкого вида *Lespedeza davurica* (Laxm.) Schindl. (Fabaceae). Показана высокая эффективность стерилизации семян 1%-ным раствором нитрата серебра с применением 1%-ного раствора хлорида натрия. Общая всхожесть семян составила 78.8%, что является достаточно высоким показателем. Отмечено, что семядольные листья у большинства растений исследованного вида появляются к концу первой недели культивирования, настоящие листья — к концу второй недели, боковые пазушные побеги начинают формироваться в первый месяц культивирования. Показана возможность получения жизнеспособных микрорастений *L. davurica* при использовании питательной среды по прописи Мурасиге и Скуга без регуляторов роста и с добавлением тидиазурона. Для индукции ризогенеза достаточно культивировать микрорастения на исследуемых средах, не прибегая к другим регуляторам роста.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа была выполнена на уникальной научной установке “Коллекция живых растений *in vitro* Ботанического сада-института ДВО РАН” в рамках темы “Введение в культуру, изучение и сохранение генетических ресурсов хозяйственно ценных растений Восточной Азии”. Регистрационный номер: 122040800086-1.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Павлова Н.С. 1989. Секция Леспедеца. — В кн.: Сосудистые растения Дальнего Востока. Т. 4. Л. С. 201–202.
2. Павлова Н.С. 2008. Леспедеца даурская. — В кн.: Красная книга Приморского края. Владивосток. С. 131–133. http://redbookpk.ru/index_plants.html
3. Курбатский В.И. 1994. *Lespedeza* Michaux — Леспедеца. — В кн.: Флора Сибири. Т. 9. Fabaceae (Leguminosae). Новосибирск. С. 216.
4. Kitagawa M. 1979. Neo-Lineamenta Florae Manshuricae: or Enumeration of the Spontaneous Vascular Plants Hither to Known from Manchuria. Vaduz. 715 p.
5. Красная книга Приморского края: Растения. Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды растений и грибов. 2008. Владивосток. 688 с. http://redbookpk.ru/index_plants.html
6. Красная книга Амурской области. Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды животных, растений и грибов. 2020. Благовещенск. 502 с.
7. Большой энциклопедический словарь лекарственных растений. 2015. СПб. 759 с.
8. Xu B., Niu F., Duan D., Xu W., Huang J. 2012. Root morphological characteristics of *Lespedeza davurica* (L.) intercropped with *Bothriochloa ischaemum* (L.) Keng under water stress and P application conditions. — Pak. J. Bot. 44(6): 1857–1864. [https://pakbs.org/pjbot/PDFs/44\(6\)/06.pdf](https://pakbs.org/pjbot/PDFs/44(6)/06.pdf)

9. Xu W., Deng X., Xu B., Gao Z., Ding W. 2014. Photosynthetic activity and efficiency of *Bothriochloa ischaemum* and *Lespedeza davurica* in mixtures across growth periods under water stress. — Acta Physiol. Plant. 36(4): 1033–1044. <https://doi.org/10.1007/s11738-013-1481-9>
10. Xu B., Xu W., Wang Z., Chen Z., Palta J.A., Chen Y. 2018. Accumulation of N and P in the legume *Lespedeza davurica* in controlled mixtures with the grass *Bothriochloa ischaemum* under varying water and fertilization conditions. — Front. Plant Sci. 9: 165. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00165>
11. Tong L.R., Song Y., Wang P., Wang J., Ni S.G., Xia F.S. 2021. Pollination biology of *Lespedeza davurica*. — Legum. Res. 44(7): 834–837. <https://doi.org/10.18805/LR-605>
12. Lin D., Ma H., Lu Sh., Feng Ch. 2008. Characteristic of gas exchange and chlorophyll fluorescence parameters in leaves of *Lespedeza davurica*. — In: Proceedings of the XXI International Grassland Congress and VIII International Rangeland Congress. V. 1. Hohhot. P. 216. <http://uknowledge.uky.edu/igc/21/1-5/17>
13. Ying X., Zhao X., Dong K. 2008. Comparison of the production performance between two populations of *Lespedeza davurica*. — In: Proceedings of the XXI International Grassland Congress and VIII International Rangeland Congress. V. 1. P. 250. <http://uknowledge.uky.edu/igc/21/1-6/1>
14. Zhang W.P., Zhao X., Zhang Y., Dong K. 2008. A virtual grows model of the whole structure and dynamics of *Lespedeza dahurica*. — In: Proceedings of the XXI International Grassland Congress and VIII International Rangeland Congress. V. 1. Hohhot. P. 153. <http://uknowledge.uky.edu/igc/21/1-4/4>
15. Chen T., Christensen M., Nan Zh., Hou F. 2017. Effects of grazing intensity on seed size, germination and fungal colonization of *Lespedeza davurica* in a semi-arid grassland of northwest China. — J. Arid Environ. 144: 91–97. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2017.04.006>
16. Wang Y., Geng Q., Huang J., Wang Ch., Li L., Hasi M., Niu G. 2021. Effects of nitrogen addition and planting density on the growth and biological nitrogen fixation of *Lespedeza davurica*. — Chin. J. Plant Ecol. 45(1): 13–22. <https://doi.org/10.17521/cjpe.2020.0185>
17. Wang Sh., Liu J., Kang J., Xu B., Chen Y. 2021. Root growth and morphology of switchgrass (*Panicum virgatum* L.) and bush clover (*Lespedeza davurica* Schindl.) in mixed plantation under varying soil water and phosphorus supply conditions. — Pak. J. Bot. 53(4): 1227–1237. [https://doi.org/10.30848/PJB2021-4\(41\)](https://doi.org/10.30848/PJB2021-4(41))
18. Sharma B.R., Rhyu D.Y. 2015. *Lespedeza davurica* (Lax.) Schindl. extract protects against cytokine-induced β -cell damage and streptozotocin-induced diabetes. — Biomed Res. Int. 169256. <https://doi.org/10.1155/2015/169256>
19. Потанина О.Г., Буджапова С., Самылина И.А. 2009. Анатомо-диагностические признаки травы Леспедецы даурской. — Фармация. 6: 29–32. <https://elibrary.ru/item.asp?id=12882657>
20. Николаева М.Г., Разумова М.В., Гладкова В.Н. 1985. Справочник по проращиванию покоящихся семян. Л. 506 с.
21. Murashige T., Skoog F. 1962. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. — Physiol. Plant. 15(3): 473–497. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x>

In Vitro Introduction of *Lespedeza davurica* (Fabaceae)

T. E. Lonchakova^{a, *}, A. S. Pianova^a, K. S. Berdasova^a

^aBotanical Garden-Institute FEB RAS, Vladivostok, Russia

*e-mail: yashma135@mail.ru

Abstract—Rare species *Lespedeza davurica* (Laxm.) Schindl. (Fabaceae), growing in the Russian Federation, was for the first time introduced into *in vitro* culture. Efficient sterilization protocol was selected: seeds were soaked in sulfuric acid for 25 min, then washed in distilled water 5 times for 30 s, then soaked in 1% silver nitrate solution for 25 min, then in 1% sodium chloride solution for 15 min, and washed in distilled water 3 times for 30 s. The overall seed germination was sufficiently high — 78.8%. It was observed, that cotyledon leaves in most plants appeared by the end of the first week of cultivation, true leaves — by the end of the second week, additional shoots began to form within the first month of cultivation. The resulting culture was propagated under *in vitro* conditions using additional shoots. The effect of thidiazuron at concentrations of 0.5 and 0.1 mL/L was traced. It was shown that Murashige and Skoog medium without growth regulators are suitable for cultivation and micropropagation of the species under study, and when the medium is supplemented with thidiazuron it can be used to obtain more plant material. The results of our study are of interest for the fundamental and applied aspects of the study of *L. davurica*.

Keywords: *Lespedeza davurica*, *in vitro* culture, micropropagation, seed germination, growth regulator thidiazuron, rare species

ACKNOWLEDGMENTS

The study was carried out using unique scientific installation “Collection of *in vitro* live plants of the Botanical Garden-Institute FEB RAS” as part of research topic 122040800086-1: “Introduction to the culture, study and conservation of genetic resources of economically valuable plants of East Asia”.

REFERENCES

1. Pavlova N.S. 1989. *Lespedeza*. — In: Plantae vasculares orientis extremi sovietici. V. 4. Leningrad. P. 201–202. (In Russian).
2. Pavlova N.S. 2008. *Lespedeza davurica*. — In: [Red Book of the Primorsky Territory. Plants. Rare and endangered species of plants and fungi]. Vladivostok. P. 131–133. http://redbookpk.ru/index_plants.html (In Russian)
3. Kurbatskij V.I. 1994. *Lespedeza* Michaux — *Lespedeza*. — In: Flora Sibiriae. V. 9. Fabaceae (Leguminosae). Novosibirsk. P. 216. (In Russian)
4. Kitagawa M. 1979. Neo-Lineamenta Florae Manshuricae: or Enumeration of the Spontaneous Vascular Plants Hitherto Known from Manchuria. Vaduz. 715 p.
5. [Red Book of the Primorsky Territory. Plants. Rare and endangered species of plants and fungi]. 2008. Vladivostok. 688 p. http://redbookpk.ru/index_plants.html (In Russian)
6. [Red book of the Amur region. Rare and endangered species of animals, plants and fungi]. 2020. Blagoveshchensk. 502 p. (In Russian)
7. [Big encyclopedic dictionary of medicinal plants]. 2015. St. Petersburg. 759 p. (In Russian)
8. Xu B., Niu F., Duan D., Xu W., Huang J. 2012. Root morphological characteristics of *Lespedeza davurica* (L.) intercropped with *Bothriochloa ischaemum* (L.) Keng under water stress and P application conditions. — Pak. J. Bot. 44(6): 1857–1864. [https://pakbs.org/pjbot/PDFs/44\(6\)/06.pdf](https://pakbs.org/pjbot/PDFs/44(6)/06.pdf)
9. Xu W., Deng X., Xu B., Gao Z., Ding W. 2014. Photosynthetic activity and efficiency of *Bothriochloa ischaemum* and *Lespedeza davurica* in mixtures across growth periods under water stress. — Acta Physiol. Plant. 36(4): 1033–1044. <https://doi.org/10.1007/s11738-013-1481-9>
10. Xu B., Xu W., Wang Z., Chen Z., Palta J.A., Chen Y. 2018. Accumulation of N and P in the legume *Lespedeza davurica* in controlled mixtures with the grass *Bothriochloa ischaemum* under varying water and fertilization conditions. — Front. Plant Sci. 9: 165. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00165>
11. Tong L.R., Song Y., Wang P., Wang J., Ni S.G., Xia F.S. 2021. Pollination biology of *Lespedeza davurica*. — Legum. Res. 44(7): 834–837. <https://doi.org/10.18805/LR-605>
12. Lin D., Ma H., Lu Sh., Feng Ch. 2008. Characteristic of gas exchange and chlorophyll fluorescence parameters in leaves of *Lespedeza davurica*. — In: Proceedings of the XXI International Grassland Congress and VIII International Rangeland Congress. V. 1. Hohhot. P. 216. <http://uknowledge.uky.edu/igc/21/1-5/17>
13. Ying X., Zhao X., Dong K. 2008. Comparison of the production performance between two populations of *Lespedeza davurica*. — In: Proceedings of the XXI International Grassland Congress and VIII International Rangeland Congress. V. 1. P. 250. <http://uknowledge.uky.edu/igc/21/1-6/1>
14. Zhang W.P., Zhao X., Zhang Y., Dong K. 2008. A virtual grows model of the whole structure and dynamics of *Lespedeza dahurica*. — In: Proceedings of the XXI International Grassland Congress and VIII International Rangeland Congress. V. 1. Hohhot. P. 153. <http://uknowledge.uky.edu/igc/21/1-4/4>
15. Chen T., Christensen M., Nan Zh., Hou F. 2017. Effects of grazing intensity on seed size, germination and fungal colonization of *Lespedeza davurica* in a semi-arid grassland of northwest China. — J. Arid Environ. 144: 91–97. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2017.04.006>
16. Wang Y., Geng Q., Huang J., Wang Ch., Li L., Hasi M., Niu G. 2021. Effects of nitrogen addition and planting density on the growth and biological nitrogen fixation of *Lespedeza davurica*. — Chin. J. Plant Ecol. 45(1): 13–22. <https://doi.org/10.17521/cjpe.2020.0185>
17. Wang Sh., Liu J., Kang J., Xu B., Chen Y. 2021. Root growth and morphology of switchgrass (*Panicum virgatum* L.) and bush clover (*Lespedeza davurica* Schindl.) in mixed plantation under varying soil water and phosphorus supply conditions. — Pak. J. Bot. 53(4): 1227–1237. [https://doi.org/10.30848/PJB2021-4\(41\)](https://doi.org/10.30848/PJB2021-4(41))
18. Sharma B.R., Rhyu D.Y. 2015. *Lespedeza davurica* (Lax.) Schindl. extract protects against cytokine-induced β -cell damage and streptozotocin-induced diabetes. — Biomed Res. Int. A169256. <https://doi.org/10.1155/2015/169256>
19. Potanina O.G., Budazhapova S., Samylina I.A. 2009. The anatomic and diagnostic signs of daurian bush-clover (*Lespedeza davurica*) herb. — Farmaciya. 6: 29–32. <https://elibrary.ru/item.asp?id=12882657> (In Russian)
20. Nikolaeva M.G., Razumova M.V., Gladkova V.N. 1985. [A guide to germinating dormant seeds]. Leningrad. 506 p. (In Russian)
21. Murashige T., Skoog F. 1962. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. — Physiol. Plant. 15(3): 473–497. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x>

СТРУКТУРА ПОПУЛЯЦИЙ РАСТЕНИЙ

СОСТОЯНИЕ ЦЕНОПОПУЛЯЦИЙ *LIMONIUM GMELINII* (PLUMBAGINACEAE) В РЕСПУБЛИКЕ ХАКАСИЯ

© 2023 г. И. Н. Барсукова^{1, *}, В. А. Черемушкина²

¹Хакасский государственный университет, им. Н.Ф. Катанова, г. Абакан, Россия

²Центральный сибирский ботанический сад СО РАН, г. Новосибирск, Россия

*e-mail: saphronovairina@mail.ru

Поступила в редакцию 14.04.2023 г.

После доработки 25.04.2023 г.

Принята к публикации 25.05.2023 г.

Изучена онтогенетическая структура и дана оценка состояния 4-х ценопопуляций галофита *Limonium gmelinii* (Willd.) Kuntze (Plumbaginaceae) в Республике Хакасия. Установлено, что исследованные ценопопуляции развиваются устойчиво. В солонцеватой степи, в условиях низкого общего проективного покрытия и достаточного увлажнения, формируется левосторонний тип онтогенетического спектра; на слабозасоленном или почти незасоленном (массовая доля солей в сухой почве не превышала 0.03%) субстрате задернованных степных и луговых сообществ при разных режимах увлажнения — центрированный онтогенетический спектр. На основе комплекса организменных и популяционных признаков установлено, что своего оптимального состояния особи и ценопопуляции *L. gmelinii* достигают на слабозасоленных и практически незасоленных почвах в холоднополынно-злаковой и полынной настоящих степях. В условиях разнотравно-вейникового остепненного луга при слабом засолении, но сильном задернении и недостатке влаги, оптимум не наблюдается, уровень состояния ценопопуляции существенно снижается. При сильном засолении почвенного субстрата, слабой конкуренции со стороны сопутствующих видов и достаточном увлажнении сумма баллов организменных и популяционных признаков имеет среднее значение.

Ключевые слова: *Limonium gmelinii*, галофиты, онтогенетическая структура, состояние, засоленные местообитания, степные сообщества, луговые сообщества, Республика Хакасия

DOI: 10.31857/S0033994623030056, **EDN:** SAESYZ

Исследования биологии и популяционной организации отдельных видов растений на территории Республики Хакасия, проводятся долгое время [1–9]. Несмотря на это, растения засоленных местообитаний остаются практически не изученными в популяционно-онтогенетическом отношении. Учитывая, что виды галофитных сообществ выступают своеобразным индикатором “качества среды” и позволяют отследить процессы изменения экологической обстановки региона [10], изучение состояния их природных ценопопуляций крайне актуально и становится одним из решающих аспектов в сохранении биологического разнообразия.

Исследование посвящено изучению характерного галофита Хакасии из семейства Plumbaginaceae (Свинчатковые) — кермеку Гмелина *Limonium gmelinii* (Willd.) Kuntze (рис. 1). Это многолетнее травянистое каудексообразующее поликарпическое растение с розеточной симподиальной моделью побегообразования [12]. Большая часть ареала *L. gmelinii* находится на территории России, где он занимает пространство от бассейна нижней

Волги на западе до Байкальской Сибири на востоке [13, 14]. Вне России произрастает в юго-восточной части Средней Европы, Казахстане, Кыргызстане, Западном Китае и Монголии [15, 16]. *L. gmelinii* — эугалофит, эвритопный вид, предпочитающий солончаковатые луга, берега соленых озер и морские побережья, засоленные понижения [14, 17, 18]. В Сибири наиболее часто встречается на галофитных вариантах солонцеватых остепненных лугов лесостепной зоны, в разнотравно-полынно-мелкодерновинных солонцеватых степях степной и южной части лесостепной зон. Входит в состав ассоциаций *Limonio gmelini*—*Phleetum phleoides* (*Artemisia nitrosa* Weber ex Stechm., *A. laciniata* Willd., *Limonium gmelinii*, *Puccinellia tenuissima* (Krecz.) Pavlov), *Limonio gmelini*—*Stipetum capillatae* (*Artemisia nitrosa*, *Limonium gmelinii*, *Puccinellia tenuissima*) [19]. Отмечен во флористически бедных сообществах ассоциации *Suaedetum corniculatae* Burzeva in Mirkin et al. 1992 (*Suaeda corniculata* (C. A. Mey.) Bunge, *Artemisia nitrosa*, *Hordeum brevisubulatum* (Trin.) Link, *Plantago salsa* Pall.) вокруг озер в виде небольших групп в местах выпаса

в депрессиях на лугово-солончаковых почвах и солончаках, а также на участках солончаков среди орошаемых лугов [20].

В литературе представлены сведения об анатомическом строении эпидермы листьев и стеблей *L. gmelinii* [21, 22], морфологической изменчивости надземных частей растения [23, 24], а также его биологически активных веществах [25, 26]. Описание жизненной формы и онтогенеза *L. gmelinii*, изучение онтогенетической структуры его ценопопуляций ранее было проведено в условиях Алтайского края А.Ю. Асташенковым и А.В. Гребенюком [12]. Сведения о структуре и состоянии ценопопуляций вида на территории Республики Хакасия отсутствуют.

Цель работы — изучение онтогенетической структуры и состояния ценопопуляций *L. gmelinii* в Республике Хакасия.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В Усть-Абаканском и Алтайском р-нах Хакасии в 2022 г. было исследовано четыре ценопопуляции (ЦП) *L. gmelinii*. Согласно геоботаническому районированию республики, эти районы относятся к Приабаканскому степному и Койбальскому предгорно-степному округам провинции Минусинской котловины и характеризуются засушливым континентальным климатом (средняя температура июля 18.6 °С, января –20 °С) со среднегодовым количеством осадков от 250 до 350 мм [27]. Геоботанические описания сообществ выполняли по общепринятой методике [28]. Латинские названия видов растений приведены согласно сводке The Plant List [29]. Тип и степень засоленности почв определяли с помощью почвенной экспресс-лаборатории “Крисмас+”. Определение pH солевой почвенной вытяжки выполняли при помощи электронного pH метра Testo 206.

ЦП 1 — Усть-Абаканский р-н, окр. с. Капчалы, небольшое возвышение на берегу оз. Камышовое с юго-западной стороны. Кермеково-чиевая солонцеватая степь (*Stipa splendens* Trin., *Limonium gmelinii*). Общее проективное покрытие (ОПП) травостоя — 40%, проективное покрытие (ПП) *L. gmelinii* — 10%, на долю открытых участков почвы приходилось до 45%. Тип засоления сульфатный (массовая доля сульфатов в сухой почве — 1.73%). Уровень pH почвенного раствора — 8.89 (щелочная среда).

ЦП 2 — Алтайский р-н, окр. с. Подсинее, выровненный участок в 25–50-ти м от проезжей части дороги. Разнотравно-вейниковый оstepенный луг (*Calamagrostis purpurea* (Trin.) Trin., *Limonium gmelinii*, *Achillea asiatica* Serg., *Linaria vulgaris* Mill). ОПП травостоя до 70%, ПП вида — 15%, открытые участки почвы — 16%. Почва слабозасоленная (массовая доля сульфатов, хлоридов и гид-



Рис. 1. *Limonium gmelinii* (автор фотографии: А.В. Гребенюк) [11].

Fig. 1. *Limonium gmelinii* (photo by A.V. Grebenjuk) [11].

рокарбонатов в сухой почве не более 0.12%), среда почвенного раствора слабощелочная (pH 7.36).

ЦП 3 — Усть-Абаканский р-н, окр. с. Московское, выровненный участок с небольшими понижениями в 1–1.5 км северо-западнее Хутора № 12. Холоднополюнно-злаковая настоящая степь (*Calamagrostis epigeios* (L.) Roth., *Puccinellia distans* (Jacq.) Parl., *Artemisia frigida* Willd.). ОПП травостоя — 65%, ПП вида — 15%, открытые участки почвы — 15%. Почва слабозасоленная (массовая доля сульфатов, хлоридов и гидрокарбонатов в сухой почве не превышала 0.10%), слабощелочная (pH 7.13).

ЦП 4 — Алтайский р-н, окр. д. Лукьяновка, в 100–150 м от оз. Малая Куринка. Полынная настоящая степь с доминированием *Artemisia frigida*. Вблизи растительного сообщества заросли *Spiraea hypericifolia* L. Изучаемый вид произрастал на открытом выровненном участке, его проективное покрытие не превышало 13%. ОПП травостоя — 50%, открытые участки почвы — 30%. Почвы практически незасоленные (массовая доля хлоридов, сульфатов и гидрокарбонатов в сухой почве не более 0.03%), среда почвенного раствора нейтральная (pH 6.97).

Структуру ценопопуляций изучали с использованием популяционно-онтогенетического подхода [30–36]. За счетную единицу принимали особь семенного происхождения. На основе сведений об онтогенезе *L. gmelinii*, представленных в работе А.Ю. Асташенкова и А.В. Гребенюка [12], выделены следующие онтогенетические состояния: ювенильное (*j*), имматурное (*im*), виргинильное (*v*), молодое генеративное (*g*₁), зрелое генеративное (*g*₂), старое генеративное (*g*₃), субсенильное (*ss*), сенильное (*s*). Онтогенетический спектр ЦП строили на основании данных, полученных с 10–17 площадок размером 1 м².

Для характеристики онтогенетической структуры ЦП использовали общепринятые демографические показатели: индекс восстановления (*I*_в) — отношение числа особей прегенеративных онтогенетических состояний к числу особей генеративных состояний [36]; индекс генеративности (*I*_{ген}) — отношение числа особей генеративных состояний к сумме особей всех онтогенетических состояний [37]; индекс старения (*I*_{ст}) — отношение числа старых особей к сумме особей всех состояний [38]. Индекс возрастности определяли по формуле [32]:

$$\Delta = \frac{\sum_i m_i n_i}{N},$$

где m_i — возрастность особей *i*-го онтогенетического состояния, n_i — число особей *i*-го состояния, N — общее число особей в ценопопуляции; индекс эффективности [39] — по формуле:

$$\omega = \frac{\sum_i e_i n_i}{N},$$

где e_i — относительная эффективность потребления энергии особями *i*-го онтогенетического состояния, n_i — число особей *i*-го состояния, N — общее число особей в ценопопуляции.

Для определения типа ценопопуляций использовали классификацию “дельта–омега” Л.А. Животовского [39]. При расчете экологической плотности ЦП учитывали количество особей на единицу обитаемого пространства [40]. Для выявления межпопуляционных различий плотности ЦП применяли бутстреп-метод, а именно преобразование [38]:

$$X = \ln(n + 1),$$

где X — средняя плотность ценопопуляции, n — число растений на площадке.

Под эффективной плотностью ценопопуляций понимали число зрелых генеративных растений с нагрузкой на ресурсы среды, эквивалентной нагрузке ценопопуляции в целом. Для расчета эффективной плотности определяли сумму

эффективностей потребления энергии растениями разных онтогенетических состояний на единицу обитаемого пространства [39].

Состояние ЦП оценено по комплексу организменных и популяционных признаков согласно методике Л.Б. Заугольной [35]. В качестве организменных признаков были выбраны: число генеративных и вегетативных побегов (шт.), длина цветоноса (см), биомасса взрослой особи надземная и подземная (воздушно-сухая) (г), репродуктивное усилие (РУ) особи (%); в качестве популяционных признаков — доля особей прегенеративных состояний ($j-v$) (%), доля особей молодого и зрелого (g_1-g_2) генеративного состояний (%), общая биомасса особей (воздушно-сухая) на единицу площади (г/м²), плотность особей (экз./м²), эффективная плотность ценопопуляции (экз./м²). Все организменные параметры определяли у растений, находящихся в зрелом генеративном состоянии. Так как особи старого генеративного, субсенильного и сенильного состояний быстро погибают, эти онтогенетические группы не учитывали при оценке состояния ценопопуляций. Под репродуктивным усилием особи понимали долю массы генеративных органов от общей биомассы растений. При выборе признаков учитывались их информативность и сила корреляционного взаимодействия [41]. При проведении корреляционного анализа использовали коэффициент ранговой корреляции Спирмена [42].

Для общей оценки состояния ценопопуляций диапазон значений каждого признака разбивали на пять классов с присвоением балла; минимальный балл соответствовал минимальным показателям. Результаты представляли в виде лепестковой диаграмм. Состояние каждой исследованной ЦП оценивали на основе суммы баллов по каждому признаку. При сравнении величин организменных признаков достоверность различий определяли по *t*-критерию Стьюдента (95%-ный уровень значимости) [42].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ геоботанических описаний сообществ с участием *L. gmelinii*, гербарных коллекций Центрального сибирского ботанического сада СО РАН, г. Новосибирск (NS), Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, г. Москва (MSU), Хакасского государственного университета им. Н.Ф. Катанова, г. Абакан (HGU) и литературных данных показал, что местообитания вида в Хакасии приурочены к засоленным почвам настоящих степей, остепненных и солончаковых лугов. Вид обладает довольно широкой экологической амплитудой и произрастает на почвах от практически незасоленных и слабозасоленных до солончаков, при среде поч-

венного раствора от нейтральной до щелочной (6.97–8.89). И.А. Цаценкин [43] также отмечал возможность произрастания вида в широком диапазоне эдафических условий: от особо бедных до сильносолончаковых почв.

У *L. gmelinii* на территории Хакасии, так же, как и в условиях Алтайского края [12], формируется компакнокустистая многоглавокаудексная жизненная форма (далее термины “биоморфа” и “жизненная форма” используются в качестве синонимов). При описании онтогенеза *L. gmelinii* установлено, что зрелые генеративные особи этой биоморфы представлены компактным разветвленным кустом. Побеги возобновления ди-, три- и полициклические. Они разворачиваются из почек последних метамеров розеточного побега или из почек предыдущего годовичного прироста. Нереализованные почки становятся спящими. Каудекс многоглавый компактный, состоит из системы симподиальных резидов разного порядка.

Онтогенез полный. Размножение особей осуществляется только семенным путем. Продолжительность их жизни не менее 20 лет. Однако в определенных условиях темпы развития меняются. Так, например, погодичная неустойчивость прибрежных экотопов и внезапный характер изменений режимов увлажнения и засоления приводят к значительному сокращению (до 2–5 лет) генеративного и отсутствию постгенеративного периодов. Продолжительность индивидуального развития в таких случаях не более 6–10 лет [12].

Исходя из биологических особенностей (быстрые темпы развития особей в прегенеративном и постгенеративном периодах, замедленные темпы развития в зрелом генеративном состоянии) и способа размножения вида, характерный онтогенетический спектр ЦП определяется нами как центрированный. Исследованные ЦП *L. gmelinii* по классификации Т.А. Работнова [31] относятся к нормальному типу, являются полночленными (ЦП 1) и неполночленными (ЦП 2–4). В неполночленных ЦП отсутствуют особи, находящиеся в ювенильном и/или субсенильном и сенильном состояниях. В зависимости от эколого-фитоценологических условий онтогенетическая структура ЦП *L. gmelinii* имеет различные варианты и отличается демографическими показателями.

В ЦП 1, изученной в условиях кермеково-чирковой солонцеватой степи на берегу озера, спектр левосторонний с абсолютным максимумом на особях виргинильного онтогенетического состояния (32.8%) (рис. 2). Периодические подтопления в весенний период приводят к низкому общему проективному покрытию травостоя (не превышает 40%) и разреженному расположению крупнотравянистого злака *Stipa splendens*. В условиях достаточного увлажнения на открытых участках почвы (до 45%) увеличивается вероятность появления

проростков, выживания ювенильных и имматурных особей вида и их последовательный переход в виргинильное онтогенетическое состояние. Индекс восстановления высокий ($I_v = 2.56$). Одновременно с этим повышенный уровень засоления и увлажнения вызывает быстрое старение и гибель взрослых особей *L. gmelinii* из-за процессов разложения подземной части, что находит отражение в онтогенетическом спектре, и, как следствие, определяет низкие значения индексов генеративности ($I_{ген} = 0.28$) и старения ($I_{ст} = 0.12$). Поскольку значительная доля растений не достигла зрелого генеративного состояния, индексы возрастности (Δ) и эффективности (ω) невысокие (0.24 и 0.42 соответственно). По классификации Л.А. Животовского “дельта–омега” [39] ЦП является молодой. Экологическая плотность в этих условиях – 18.2 экз./м². В ЦП особи распределены неравномерно – от 4 до 32 экз./м², что связано с расположением особей дерновинного злака *Stipa splendens*. Наибольшая плотность *L. gmelinii* наблюдается на незадернованных участках.

ЦП 2 сформировалась в сообществе разнотравно-вейникового остепненного луга, ЦП 3 и 4 – в условиях холоднопыльно-злаковой и пыльной настоящей степи. Общее проективное покрытие в этих сообществах варьировало от 50 до 70%, а проективное покрытие *L. gmelinii* не превышало 15%. ЦП 2–4 имеют абсолютный максимум на зрелых генеративных особях, доля которых составляет от 49 до 79% (рис. 2). Такой тип спектра обусловлен биологическими особенностями вида. Накопление особей в зрелом генеративном состоянии вызвано замедленными темпами их развития (время пребывания в зрелом генеративном состоянии может достигать 10 лет).

ЦП 2–4 по классификации “дельта–омега” относятся к зрелым: показатели возрастности и эффективности варьируют незначительно от 0.37 до 0.44 и от 0.79 до 0.91 соответственно. Индекс генеративности ($I_{ген} = 0.76–0.89$) гораздо выше, чем в ЦП 1, но участие прегенеративных особей ниже. Индекс восстановления не превышает 0.29. Отсутствие проростков, ювенильных и низкая доля имматурных особей *L. gmelinii* указывают на элиминацию этих групп и плохие условия для прорастания семян в предыдущие один–два года. На появление и развитие подростка неблагоприятное влияние оказывают эколого-фитоценологические условия. Так, на остепненном лугу в ЦП 2 появление всходов и развитие молодых растений *L. gmelinii* затруднено из-за доминирования *Calamagrostis purpurea* (до 20%) и накопления ветоши (до 14%).

Отрицательное влияние на развитие *L. gmelinii* оказывает недостаточное увлажнение. Так, в ЦП 4, изученной в пыльной настоящей степи, несмотря на наличие значительных по площади откры-

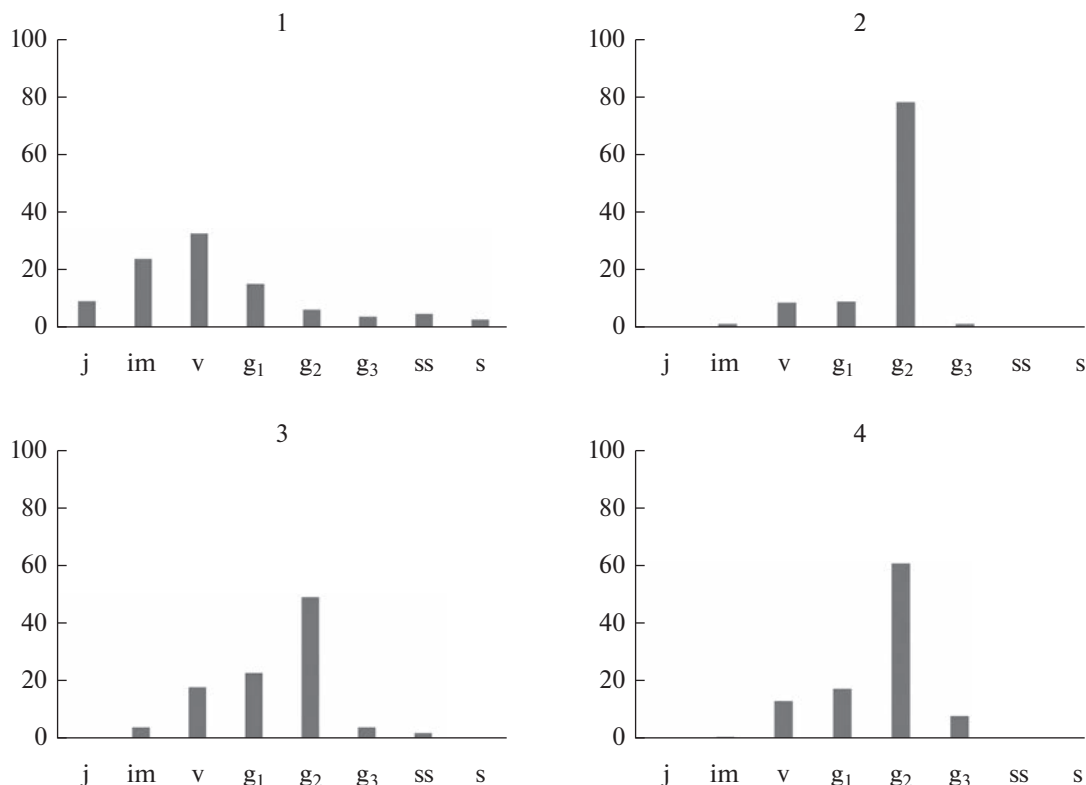


Рис. 2. Онтогенетические спектры ценопопуляций *Limonium gmelinii*. 1–4 – номер ценопопуляции. По горизонтали – онтогенетические состояния; по вертикали – доля особей разных онтогенетических состояний в ценопопуляциях (%).
Fig. 2. Ontogenetic spectra of *Limonium gmelinii* coenopopulations. 1–4 – coenopopulation number. X-axis – ontogenetic states; y-axis – share of individuals of different ontogenetic states in coenopopulations (%).

тых участков почвы (до 30%), ювенильные и им-матурные особи единичны или совсем отсутствуют. При более благоприятных фитоценологических условиях, таких как снижение общего проективного покрытия и достаточное увлажнение, наблюдающееся в небольших понижениях (ЦП 3), доля имматурных особей *L. gmelinii* увеличивается. Некоторое накопление виргинильных и молодых генеративных растений *L. gmelinii* во всех ЦП связано с более длительным их развитием и последовательным переходом из одного состояния в другое. Быстрые темпы старения и отмирания особей в постгенеративном периоде часто приводят к пропуску онтогенетических состояний в правой части спектра, что отражается в пониженных значениях индекса старения (0.01–0.08).

Распределение особей *L. gmelinii* по площадкам так же, как и в ЦП 1, варьирует в широких пределах (ЦП 2 – от 3 до 24 экз./м²; ЦП 3 – от 6 до 24 экз./м²; ЦП 4 – от 7 до 29 экз./м²) и зависит от степени задернованности. При увеличении плотности злаков численность *L. gmelinii* снижается. Так, экологическая плотность в ЦП 2 уменьшается до 13.5 экз./м², в ЦП 3 – до 15.4 экз./м², а в ЦП 4 – до 15.2 экз./м². При этом в результате приведения

значений плотности по всем ЦП к нормальному распределению при помощи бутстреп-метода оказалось, что “генеральная” средняя плотность всех ЦП варьирует незначительно – от 2.6 до 2.7 особей на площадку.

Сравнение полученных данных, по онтогенетической структуре ЦП *L. gmelinii* с результатами А.Ю. Асташенкова и А.В. Гребенюка [12], позволило выявить различия в типах спектров. В Кулундинской степи Алтайского края вид произрастает в условиях повышенного засоления и формирует компактокустистую многоглавокаудексовую и рыхлокустистую плагиотропно-многоглавокаудексовую жизненные формы. Онтогенетические спектры ЦП компактокустистой многоглавокаудексовой жизненной формы полно- и неполночленные, центрированные, бимодальные и левосторонние. Центрированный тип спектра и его варианты формировались в задернованных степных сообществах на солонцеватых почвах. Абсолютный максимум приходился на особи зрелого генеративного онтогенетического состояния, при этом доля прегенеративной фракции в нем оставалась значительной. В случае бимодального типа спектра было отмечено два пика: абсолютный – на имматурных особях и локальный – на зрелых ге-

неративных особях. Левосторонний спектр, с максимумом на имматурных особях, формировался на открытых солончаках в условиях повышенного увлажнения. Как отмечают авторы, накопление зрелых генеративных особей в спектрах связано с замедленными темпами развития в этом состоянии. Численность молодых особей увеличивалась при хорошем семенном возобновлении, повышенном увлажнении и незначительной доле рыхлодерновинных злаков (*Puccinellia* cf. *tenuissima*). По классификации “дельта—омега” алтайские ЦП молодые и зреющие (из-за значительной доли молодых особей). В Хакасии исследования онтогенетической структуры ЦП *L. gmelinii* проведены в разных эколого-фитоценологических условиях и режимах засоления почв. Стоит отметить, что в кермеково-чиевой солонцеватой степи, в условиях повышенного засоления, низкой конкуренции со стороны сопутствующих видов и достаточного увлажнения, так же, как и в ЦП Кулундинской степи, формируется неполночленный левосторонний тип онтогенетического спектра. Однако абсолютный максимум в спектре приходится на виргинильные особи. Все остальные хакаские ЦП располагались в условиях высокого общего проективного покрытия и незначительного засоления. Как и в алтайских ЦП, изученных в условиях значительного задержания на солонцеватых почвах, тип их спектра был центрированным. Однако при формировании такого спектра в Хакасии доля имматурных, виргинильных и молодых генеративных растений не высока, что сдвигает тип ЦП в сторону зрелого. Таким образом, изменение режима засоления почвенного субстрата не сказывается на типе спектра. На его формирование оказывают влияние только биологические особенности *L. gmelinii*, проективное покрытие сопутствующих видов и условия увлажнения.

Онтогенетическая структура с абсолютным максимумом на зрелых генеративных особях складывается в ЦП и у ряда других стержнекорневых растений, произрастающих в засоленных местообитаниях: *Althaea officinalis* L. [44], *Matthiola frangrans* (Fisch.) Bunge [45] и др. Авторы также отмечают, что, как правило, большая часть старых особей быстро отмирает. Однако на сырых лугах при увеличении общего проективного покрытия в ЦП *Althaea officinalis*, в отличие от *L. gmelinii*, может формироваться правосторонний тип спектра с пиком на старых генеративных растениях, что вызвано замедлением темпов их развития в этих условиях. В ЦП *Limonium tomentellum* (Boiss.) Kuntze, розеточного каудексового поликарпического растения-галофита, онтогенетические спектры ЦП, в большинстве случаев, левосторонние с преобладанием виргинильных и/или молодых генеративных растений [46]. Как указывают исследователи, отсутствие ювенильных и/или имматурных растений в ЦП *Althaea officinalis*, *Matthiola frangrans* и

Limonium tomentellum типично и связано с особенностями семенного возобновления и экологическими условиями (характер и влажность субстрата, степень задержания и антропогенной нагрузки) мест произрастания.

На основе комплексного подхода, предложенного Л.Б. Заугольной [35], оценено состояние ЦП *L. gmelinii* в разных эколого-фитоценологических условиях. Оценка состояния ЦП по организменным признакам показала, что число генеративных побегов достигает высоких значений (4 и 5 баллов соответственно) у особей *L. gmelinii*, произрастающих в холоднопопынно-злаковой (ЦП 3) и полынной (ЦП 4) настоящих степях. На остепненных лугах при увеличении общего проективного покрытия (до 70%) и сокращении свободных участков почвы оценка этого показателя снижается до 3 баллов. В местообитаниях, характеризующихся повышенным засолением, число генеративных побегов минимально (1 балл) (табл. 1, 2; рис. 3). Признак “длина цветоноса” достигает наибольших значений (4 и 5 баллов) в условиях настоящих степей (ЦП 3 и 4), а минимальными показателями характеризуются особи ЦП 2. В кермеково-чиевой солонцеватой степи (ЦП 1) длина цветоносов имеет средние значения (3 балла).

В ЦП 2–4 *L. gmelinii* установлена тесная отрицательная связь ($r_s = -0.71, p < 0.05$) между числом вегетативных побегов и репродуктивным усилием. Максимальные значения (5 баллов) репродуктивного усилия отмечены в ЦП 2 и 4, при этом число вегетативных побегов в них минимально, оценка не превышает 2 баллов. В ЦП 3, напротив, при наиболее высоком значении числа вегетативных побегов (5 баллов), репродуктивное усилие соответствует 1 баллу (табл. 1, 2; рис. 3).

Как правило, в условиях сильного задержания (на долю *Calamagrostis purpurea* в ЦП 2 приходится около 20%) и, наоборот, при произрастании особей *L. gmelinii* на участках со значительным процентом открытой почвы, подверженных солнечной инсоляции (ЦП 4) и при недостатке влаги, вегетативные побеги практически не развиваются. Благодаря этому особям удается сохранить и направить все свои ресурсы на увеличение репродукции. В ЦП 1, несмотря на достаточное увлажнение и низкое общее проективное покрытие (40%), сильное засоление препятствует достижению максимальных значений репродуктивного усилия и числа вегетативных побегов (оценка не превышает 2 и 3 баллов соответственно).

Некоторые организменные признаки (“число генеративных побегов”, “число вегетативных побегов”, “длина цветоноса”) положительно коррелируют с биомассой особей *L. gmelinii* зрелого генеративного состояния. В благоприятных условиях обитания активно развиваются генеративные побеги, увеличивается длина цветоносов, что приво-

Таблица 1. Организменные и популяционные параметры *Limonium gmelinii*
Table 1. Organismic and population parameters of *Limonium gmelinii*

Признак Character	Ценопопуляции Coenopopulations			
	1	2	3	4
Организменные признаки зрелых генеративных особей (g_2) Organismal characters of a mature generative individual (g_2)				
Число генеративных побегов, шт. Number of generative shoots, pcs.	2.4 ± 0.1^1 2–4	2.8 ± 0.2 2–5	3.0 ± 0.1 2–5	3.1 ± 0.2 2–5
Число вегетативных побегов, шт. Number of vegetative shoots, pcs.	2.0 ± 0.3 0–5	1.6 ± 0.6 0–6	3.1 ± 0.6 0–9	1.2 ± 0.2 0–3
Длина цветоноса, см Length of the peduncle, cm	39.9 ± 0.7 35.7–44.4	36.1 ± 2.7 20.6–50.0	46.0 ± 2.5 27.0–65.5	43.1 ± 2.6 28.8–75.2
Биомасса взрослой особи (воздушно-сухая), г Biomass of an adult individual (air-dry), g	11.9 ± 1.2 14.3–30.8	9.3 ± 1.1 4.1–16.4	14.1 ± 1.2 7.2–25.0	12.8 ± 0.7 6.7–19.0
Репродуктивное усилие, % Reproductive effort, %	29.1 ± 1.9 19.4–45.6	33.9 ± 5.2 11.6–53.5	28.8 ± 2.7 12.1–59.1	33.7 ± 2.0 13.2–47.2
Популяционные признаки Population characters				
Доля особей прегенеративных состояний ($j-v$), % Proportion of individuals in the pregenerative states ($j-v$), %	66.2	10.3	21.8	13.6
Доля особей молодого и зрелого генеративного состояний (g_1-g_2), % Proportion of individuals of young and mature generative states (g_1-g_2), %	21.8	88.2	72.1	78.4
Общая биомасса особей (воздушно-сухая), г/м ² Total biomass of individuals (air-dry), g/m ²	93.3 ± 24.5 13.6–204.3	48.6 ± 5.4 4.1–78.6	74.9 ± 10.3 19.5–127.4	60.0 ± 15.5 12.7–244.4
Плотность особей, экз./м ² Density of ind./m ²	18.2 ± 3.1 4–32	13.5 ± 1.6 3–24	15.4 ± 1.7 6–24	15.2 ± 1.8 7–29
Эффективная плотность ценопопуляции, экз./м ² Effective density of coenopopulation, ind./m ²	1.4	8.5	4.6	6.1

Примечание. ¹ Данные приведены в виде $M \pm m/\text{min} - \text{max}$. M – среднее арифметическое значение признака; m – ошибка среднего арифметического; min–max – минимальное–максимальное значение признака.

Note. ¹ The data are given as $M \pm m/\text{min} - \text{max}$. M – arithmetic mean value of the character; m – error of the arithmetic mean; min–max – minimum–maximum value of the character.

дит к возрастанию биомассы. Так, в ЦП 3 и 4 этот показатель достигает соответственно максимальных (5 баллов) и высоких (4 балла) значений. В сильно засоленном местообитании масса особей *L. gmelinii* также высокая (4 балла), что достигается благодаря числу вегетативных побегов (3 балла) и длине цветоносов (3 балла). При значительном задержании и недостатке влаги (ЦП 2) биомасса у особей имеет оценку 1 балл.

Общая оценка состояния ЦП *L. gmelinii* по организменным признакам показала, что максимальные суммарные значения (20 и 19 баллов соответственно) наблюдаются в холоднополюнно-злаковой (ЦП 3) и полынной (ЦП 4) настоящих степях на слабозасоленных и почти незасоленных почвах. В первом случае за счет числа генератив-

ных и вегетативных побегов, длины цветоносов и биомассы взрослых особей, а во втором – за счет числа генеративных побегов, длины цветоносов, биомассы взрослых особей и репродуктивного усилия. У особей *L. gmelinii* в ЦП 2, изученной на разнотравно-вейниковом остепненном лугу на слабозасоленном субстрате, значения организменных показателей снижаются за исключением репродуктивного усилия (33.9%). В условиях сильного засоления (доля сульфатов в сухой почве 1.73%) организменные признаки зрелых генеративных особей имеют промежуточные величины (общая оценка 13 баллов).

Анализ состояния ЦП *L. gmelinii* по популяционным параметрам показал, что доля прегенеративных ($j-v$) и генеративных (g_1-g_2) особей зави-

Таблица 2. Балловые оценки организменных и популяционных параметров *Limonium gmelinii*
Table 2. Scoring of organismal and population parameters of *Limonium gmelinii*

Признак Character	Баллы Score				
	I	II	III	IV	V
	Организменные признаки зрелых генеративных особей (g_2) Organismal characters of a mature generative individual (g_2)				
Число генеративных побегов, шт. Number of generative shoots, pcs.	≤ 2.4	2.5–2.6	2.7–2.8	2.9–3.0	3.1–3.2
Число вегетативных побегов, шт. Number of vegetative shoots, pcs.	≤ 1.2	1.3–1.7	1.8–2.1	2.2–2.6	2.7–3.1
Длина цветоноса, см Length of the peduncle, cm	≤ 36.1	36.2–38.6	38.7–41.1	41.2–43.6	43.7–46.1
Биомасса взрослой особи (воздушно-сухая), г Biomass of an adult individual (air-dry), g	≤ 9.3	9.4–10.5	10.6–11.7	11.8–12.9	13.0–14.1
Репродуктивное усилие, % Reproductive effort, %	≤ 28.8	28.9–30.1	30.2–31.4	31.5–32.7	32.8–34.0
Популяционные признаки Population characters					
Доля особей прегенеративных состояний ($j-v$), % Proportion of individuals in the pregenerative states ($j-v$), %	≤ 10.3	10.4–24.3	24.4–38.3	38.4–52.3	52.4–66.3
Доля особей молодого и зрелого генеративного состояний (g_1-g_2), % Proportion of individuals of young and mature generative states (g_1-g_2), %	≤ 21.8	21.9–38.4	38.5–55.0	55.1–71.6	71.7–88.2
Общая биомасса особей (воздушно-сухая), г/м ² Total biomass of individuals (air-dry, g/m ²)	≤ 48.6	48.7–59.8	59.9–71.0	71.1–82.2	82.3–93.4
Плотность особей, экз./м ² Density of individuals, ind./m ²	≤ 13.5	13.6–14.7	14.8–15.9	16.0–17.1	17.2–18.3
Эффективная плотность ценопопуляции, экз./м ² Effective density of coenopopulation, ind./m ²	≤ 1.4	1.5–3.2	3.3–5.0	5.1–6.8	6.9–8.6

сит от эколого-фитоценологических и погодных условий, а также от особенностей индивидуального развития *L. gmelinii*. Максимальные значения доли генеративной фракции (5 баллов) отмечены в ЦП 2–4, при этом доля прегенеративных особей в них составляет от 1 до 2 баллов. В ЦП 1, напротив, при минимальном показателе участия молодых и зрелых генеративных растений, доля прегенеративной фракции максимальна. Накопление подростов в ЦП вызвано хорошим семенным возобновлением и сохранением молодых особей в условиях достаточного увлажнения и низкой конкуренции (ОПП – 40%). В ЦП 3 и 4 доля особей в прегенеративных онтогенетических состояниях достигает 2 баллов за счет растений имматурного и

виргинильного или виргинильного состояний соответственно. Накопление последних происходит в результате последовательного перехода растений из одного состояния в другое, а также увеличения времени нахождения в этом состоянии. На появление и сохранение особей в имматурном онтогенетическом состоянии влияние оказывают условия местообитания. Так, в ЦП 3 они выживают благодаря сохранению в течение некоторого времени влаги в небольших понижениях. В ЦП 4, напротив, недостаточное увлажнение оказывает отрицательное воздействие на подрост. В ЦП 2 доля прегенеративной фракции минимальна и оценка не поднимается выше 1 балла. Сообщество, в котором была изучена ЦП 2, отличается

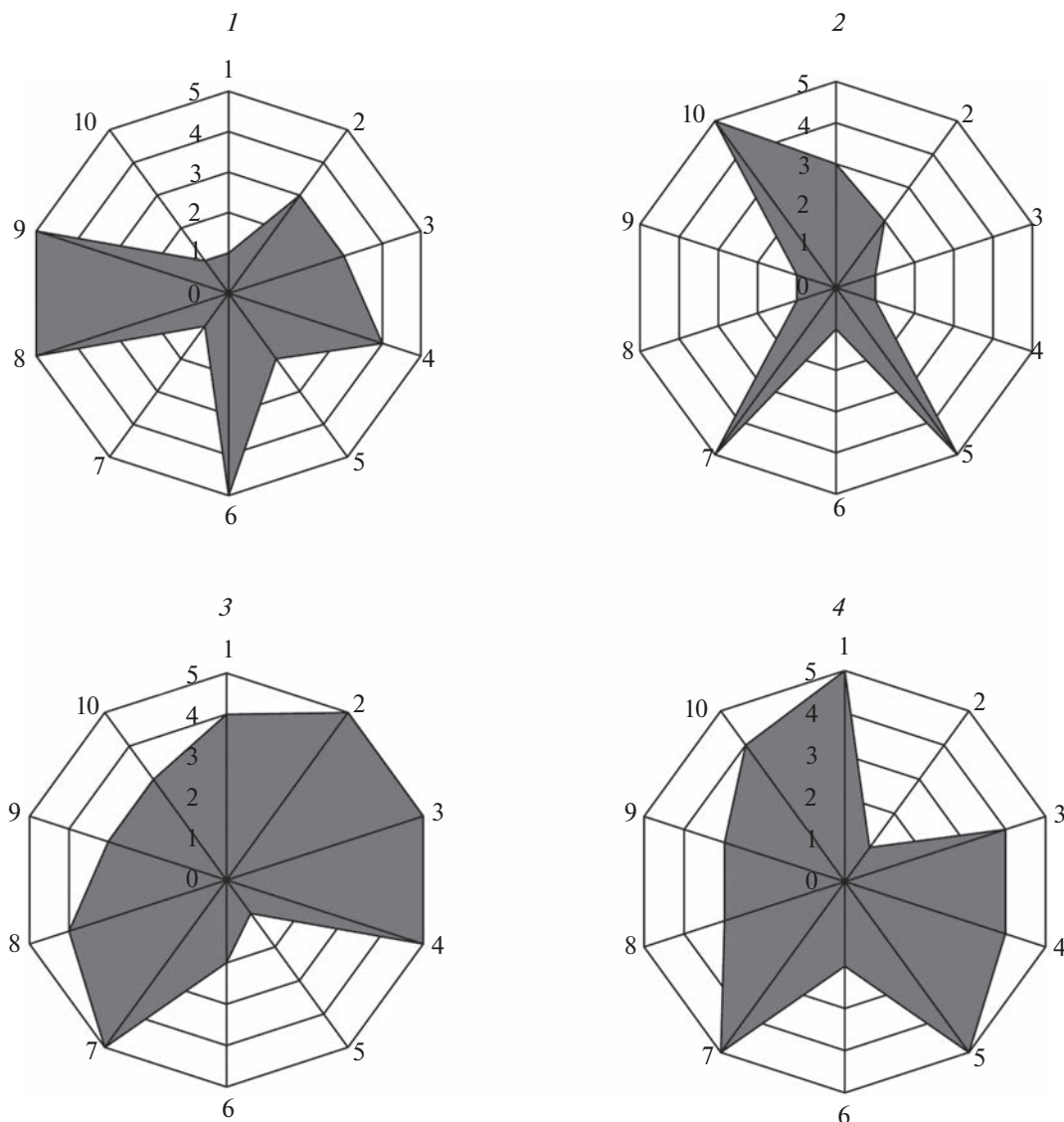


Рис. 3. Оценка состояния ценопопуляций *Limonium gmelinii* (в баллах). 1–4 – номер ценопопуляции. Организменные признаки: 1 – число генеративных побегов; 2 – число вегетативных побегов; 3 – длина цветоноса; 4 – биомасса взрослой особи (воздушно-сухая); 5 – репродуктивное усилие. Популяционные признаки: 6 – доля особей прегенеративных состояний ($j-v$); 7 – молодого и зрелого генеративного состояний (g_1-g_2); 8 – общая биомасса особей (воздушно-сухая) на единицу площади; 9 – плотность особей; 10 – эффективная плотность ценопопуляции. 1–5 – баллы.

Fig. 3. Assessment of *Limonium gmelinii* coenopopulations status (score). 1–4 – coenopopulation number. Organismal characters: 1 – number of generative shoots; 2 – number of vegetative shoots; 3 – length of the peduncle; 4 – biomass of an adult individual (air-dry); 5 – reproductive effort. Population characters: 6 – Proportion of individuals in the pregenerative states ($j-v$); 7 – Proportion of individuals of young and mature generative states (g_1-g_2); 8 – total biomass of individuals (air-dry) per unit area; 9 – density of individuals; 10 – effective density of coenopopulation. 1–5 – score.

высоким процентом участия злака *Calamagrostis purpurea* и накоплением ветоши, что отрицательно сказывается на семенном возобновлении и приводит молодые особи *L. gmelinii* к гибели.

Накопление общей биомассы *L. gmelinii* в ценопопуляции выступает одним из важных показателей, который отражает благоприятность условий обитания растений. В ЦП 1 признак “общая биомасса особей (воздушно-сухая) на единицу площа-

ди” положительно коррелирует с долей особей прегенеративной ($r_s = 0.79, p < 0.05$) и генеративной ($r_s = 0.68, p < 0.05$) фракций, а в ЦП 2–4 только с долей особей генеративной фракции ($r_s = 0.77, p < 0.05$). Максимальных значений (3–5 баллов) этот популяционный признак достигает в настоящих степях: как в условиях сильного (ЦП 1), так и в условиях слабого (ЦП 3, 4) засоления. Минимальный балл отмечен для остепненного луга

(ЦП 2), на котором произрастали, в основном, только молодые и зрелые генеративные мало-мощные особи.

Плотность особей *L. gmelinii* зависит от эколого-фитоценотического окружения. Так, высокие значения общего проективного покрытия травостоя и степени задернованности отрицательно сказываются на появлении и развитии особей прегенеративного состояния и, как следствие, понижают плотность. В ЦП 1 *L. gmelinii* этот показатель достигает 5-ти баллов, в основном, за счет доли подроста (66.2%), который развивается на открытых участках почвы. В ЦП 2, напротив, из-за сильной задернованности показатель плотности минимален (1 балл). В ЦП 3 и 4 плотность характеризуется средними значениями, ее оценка не поднимается выше 3 баллов.

Нагрузка конкретной ЦП на энергетические ресурсы окружающей среды зависит не только от показателей плотности особей, но и от соотношения в ЦП растений, относящихся к различным онтогенетическим состояниям. Это связано с тем, что на разных этапах своего индивидуального развития растения потребляют ресурсы среды различными темпами. Высоких и средних значений (3–5 баллов) показатель “доля особей g_1 – g_2 ” достигает в условиях остепненного луга (ЦП 2), холоднопопынно-злаковой (ЦП 3) и попынной (ЦП 4) настоящих степей, где доля растений, находящихся в генеративном онтогенетическом состоянии, максимальна. При уменьшении последней, эффективная плотность снижается до минимальных значений (ЦП 1). Таким образом, более высокую нагрузку на энергетические ресурсы среды оказывают ЦП 2–4, а минимальную – ЦП 1, несмотря на то, что значения экологической плотности последней самые высокие (18.2 экз./м²).

Оценка состояния исследованных ЦП по популяционным признакам показала, что она достигает максимальных значений (17 баллов) в холоднопопынно-злаковой и попынной настоящих степях. Это связано с преобладанием в этих ЦП особей в генеративном онтогенетическом состоянии (g_1 – g_2), высокими и средними показателями общей биомассы, эффективной плотности ЦП и плотности особей. Состояние ЦП 1, изученной в условиях кермеково-чиевой солонцеватой степи на сильнозасоленной почве, по популяционным признакам оценивается в 17 баллов, что связано с наличием максимального количества особей в прегенеративном онтогенетическом состоянии (j – v), величинами общей биомассы и плотности особей. ЦП 2 имеет более низкую оценку состояния (13 баллов). В ней преобладают молодые и зрелые генеративные особи, которые из-за сильной задернованности и недостатка влаги характеризуются низкими организменными показателями,

что существенным образом отражается на массе растений и плотности особей.

Результаты, полученные при оценке состояния ЦП *L. gmelinii* по организменным и популяционным признакам, согласуются с точкой зрения Н.И. Акжигитовой [47] о том, что эугалофиты хорошо приспособлены к сильнозасоленным почвам, тем не менее в сообществах при меньшей засоленности субстрата они развиваются лучше.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучение 4-х ценопопуляций *Limonium gmelinii* (Willd.) Kuntze (Plumbaginaceae) на территории Республики Хакасия показало, что все они относятся к нормальным, являются полночленными и неполночленными. Левосторонний тип онтогенетического спектра (ЦП 1) формируется в солонцеватой степи в условиях низкого общего проективного покрытия травостоя и достаточного увлажнения; центрированный спектр (ЦП 2–4) – на слабозасоленном или почти незасоленном субстрате задернованных степных и луговых сообществ при разных режимах увлажнения. Результаты исследования онтогенетической структуры ЦП *L. gmelinii* свидетельствуют об устойчивом типе их развития. Типы онтогенетических спектров в большинстве случаев соответствуют спектрам стержнекорневых растений засоленных местообитаний, в которых абсолютный максимум приходится на особи, находящиеся в зрелом генеративном онтогенетическом состоянии. На изменение онтогенетической структуры и появление максимумов в онтогенетическом спектре на прегенеративных особях оказывают влияние конкретные эколого-фитоценотические условия и успешность семенного возобновления. Демографические показатели варьируют в широких пределах. ЦП 2–4 по классификации “дельта–омега” относятся к зрелым, ценопопуляция 1 – к молодой. Плотность особей зависит от эколого-фитоценотического окружения. Максимальные значения плотности установлены на достаточно увлажненных местообитаниях с низким общим проективным покрытием травостоя, минимальные – в фитоценозах с высоким задернованием, накоплением ветоши и недостаточным увлажнением.

Оптimum состояния особей и ценопопуляций *L. gmelinii* отмечается на слабозасоленных и практически незасоленных почвах в холоднопопынно-злаковой и попынной настоящих степях Хакасии. В этих сообществах формируется мощная надземная часть растений и высокая плотность особей. В условиях разнотравно-вейникового остепненного луга при слабом засолении, но сильном задерновании и недостатке влаги, optimum не наблюдается. Однако это можно рассматривать как временное состояние, так как репродуктивное усилие и доля

БЛАГОДАРНОСТИ

молодых и зрелых генеративных особей имеют максимальные значения. При сильном засолении почвенного субстрата, слабой конкуренции со стороны сопутствующих видов и достаточном увлажнении сумма баллов организменных и популяционных признаков достигает среднего значения.

Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда № 22-17-20012 <https://rscf.ru/project/22-17-20012/> при паритетной финансовой поддержке Правительства Республики Хакасия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гонтарь Э.М., Курочкина Н.Ю. 2005. Возрастная структура ценопопуляций *Hypericum perforatum* (Clusiaceae), *Polemonium caeruleum* (Polemoniaceae) и *Primula macrocalyx* (Primulaceae) в Хакасии, на Алтае и в Восточном Казахстане. — Раст. ресурсы. 41(2): 17–28. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=9150184>
2. Водолазова С.В., Черемушкина В.А., Колегова Е.Б., Мяделец М.А. 2010. Онтогенез, структура ценопопуляций и эколого-ценотическая характеристика *Nepeta sibirica* (Lamiaceae) в Хакасии. — Раст. ресурсы. 46(1): 3–16. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17020773>
3. Леонова Т.В., Черемушкина В.А., Водолазова С.В. 2010. Онтогенетическая структура популяций *Coluria geoides* (Rosaceae) в разных эколого-ценотических условиях в Хакасии. — Раст. ресурсы. 46(2): 24–32. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17028758>
4. Колегова Е.Б., Черемушкина В.А. 2015. Онтогенетическая структура ценопопуляций *Thymus jensseensis* (Lamiaceae) на юге Сибири. — Раст. ресурсы. 51(1): 60–69. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22740096>
5. Карнаухова Н.А. 2015. Онтогенез и жизненные формы видов рода *Hedysarum* L. Южной Сибири. — Сиб. экол. журнал. 22(5): 743–755. <https://doi.org/10.15372/SEJ20150508>
6. Шурупова М.Н. 2018. Структура ценопопуляций и онтогенез *Saussurea baicalensis* (Asteraceae) в Кузнецком Алатау (Хакасия). — Бот. журн. 103(5): 616–630. <https://doi.org/10.1134/S0006813618050046>
7. Таловская Е.Б., Черемушкина В.А., Барсукова И.Н. 2020. Архитектура кустарничка *Thymus petraeus* (Lamiaceae) в условиях Южной Сибири. — Сиб. экол. журнал. 27(1): 107–117. <https://doi.org/10.15372/SEJ20200108>
8. Черемушкина В.А., Гусева А.А., Макунина Н.И., Асташенков А.Ю., Денисова Г.Р. 2020. Фитоценотическая характеристика, онтогенетическая структура и оценка состояния ценопопуляций *Scutellaria scordiifolia* (Lamiaceae) в Сибири. — Раст. ресурсы. 56(2): 138–150. <https://doi.org/10.31857/S003399462002003X>
9. Карнаухова Н.А., Сыева С.Я. 2022. Состояние ценопопуляций *Astragalus austrosibiricus* (Fabaceae) в Горном Алтае и Хакасии. — Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 3: 31–43. <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2022-3-31-43>
10. Юрицына Н.А. 2016. Особенности растительности засоленных экотопов юго-востока Европы и сопредельных территорий: Автореф. дис. ... д-ра. биол. наук. Тольятти. 36 с.
11. *Limonium gmelinii*. <https://www.plantarium.ru/page/image/id/268405.html>
12. Асташенков А.Ю., Гребенюк А.В. 2017. Морфологическая адаптация особей и онтогенетическая структура ценопопуляций *Limonium gmelinii* (Plumbaginaceae) в условиях Кулундинской степи (Алтайский край). — Бот. журн. 102(8): 1136–1149. <https://doi.org/10.1134/S0006813617080063>
13. Линчевский И.А. 1952. *Limonium* Mill. — Кермек. — В кн.: Флора СССР. М.; Л. Т. XVIII. С. 411–467.
14. Ковтонюк Н.К. 1997. *Limonium* Miller — Кермек. — В кн.: Флора Сибири. Pyrolaceae — Lamiaceae (Labiatae). Новосибирск. Т. II. С. 50–56.
15. Pignatti S. 1972. *Limonium* Miller. — In: Flora Europaea. V. 3: Diapensiaceae to Myoporaceae. Cambridge. P. 38–50.
16. Peng T.H., Kamelin R.V. 1996. Plumbaginaceae. — In: Flora of China. V. 15. P. 190–204. <http://flora.huh.harvard.edu/china/mss/volume15/Plumbaginaceae.published.pdf>
17. Клещева Е.А. 2010. Индикационные особенности растений юга Сибири по отношению к фактору увлажнения почвы. — Экология. 6: 425–431. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=15524526>
18. Grigore M.N., Toma C. 2014. Integrative ecological notes on halophytes from “Valea Ilenei” (Iași) nature reserve. — Mem. Sci. Sect. Rom. Acad. 37: 19–36. http://mss.academiaromana-is.ro/mem_sc_st_2014/2_Grigore.pdf
19. Королук А.Ю. 2014. Сообщества класса *Festuco–Brometea* на территории Западно-Сибирской равнины. — Раст. России. 25: 45–70. <https://doi.org/10.31111/vegrus/2014.25.45>
20. Лебедева С.А., Гречушкина Н.А., Лебедев Е.А. 2012. Растительные сообщества союза Camphorosmo–Suaedion corniculatae юга Минусинской котловины. — Известия Самарского научного центра РАН. 1(4). http://www.ssc.smr.ru/media/journals/izvestia/2012/2012_1_1054_1057.pdf

21. Daraban I.-N., Mihali C.V., Turcuş V., Ardelean A., Arsene G.-G. 2013. ESEM and EDAX observations on leaf and stem epidermal structures (stomata and salt glands) in *Limonium gmelinii* (Willd.) Kuntze. — Ann. Romanian Soc. Cell Biol. 18(1): 123–130.
22. Zorić L.N., Anačkov G.T., Karanović D.S., Luković J.Ž. 2013. Leaf structural adaptations of two *Limonium* Miller (Plumbaginales, Plumbaginaceae) taxa. — Zbornik Matice srpske za prirodne nauke. 125: 43–54. <https://doi.org/10.2298/ZMSPN1325043Z>
23. Vestek A., Knežević J., Janjić Đ., Rat M., Anačkov G. 2016. *Limonium gmelinii* (Willd.) O. Kuntze in Serbia and Republic of Macedonia: analysis of morphological variability. — Biologia Serbica. 38(1): 3–11. <https://doi.org/10.5281/zenodo.48467>
24. Malekmohammadi M., Lack H.W., Lomonosova M., Akhane H. 2017. The discovery, naming and typification of *Limonium gmelinii* (Plumbaginaceae). — Willdenowia. 47(2): 99–106. <https://doi.org/10.3372/wi.47.47201>
25. Мовсумов И.С., Гараев Э.А. 2012. Компонентный состав и биологическая активность видов рода *Limonium* (Limonaceae). — Раст. ресурсы. 48(2): 288–293. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17775357>
26. Ловинская А.В., Колумбаева С.Ж., Шалахметова Т.М., Марсова М.В., Абилов С.К. 2017. Антигенотоксическая активность биологически активных веществ в экстрактах *Inula britannica* и *Limonium gmelinii*. — Генетика. 53(12): 1393–1401. <https://doi.org/10.7868/S0016675817120086>
27. Куминова А.В., Маскаев Ю.М. 1976. Геоботаническое районирование. — В кн.: Растительный покров Хакасии. Новосибирск. С. 309–367.
28. Корчагин А.А. 1964. Видовой (флористический) состав растительных сообществ и методы его изучения. — В кн.: Полевая геоботаника. М.; Л. Т. 3. С. 39–62.
29. The Plant List. <http://www.theplantlist.org/>
30. Работнов Т.А. 1950. Жизненный цикл многолетних травянистых растений в луговых ценозах. — Тр. БИН АН СССР. 3(6): 7–196.
31. Работнов Т.А. 1950. Вопросы изучения состава популяций для целей фитоценологии. — Проблемы ботаники. 1: 465–483.
32. Уранов А.А. 1975. Возрастной спектр фитоценопопуляции как функция времени и энергетических волновых процессов. — Биол. науки. 2: 7–34.
33. Ценопопуляции растений (Основные понятия и структура). 1976. М. 217 с.
34. Ценопопуляции растений (Очерки популяционной биологии). 1988. М. 184 с.
35. Заугольнова Л.Б. 1994. Структура популяций семенных растений и проблемы их мониторинга: Дис. ...д-ра биол. наук в форме научного доклада. СПб. 70 с.
36. Жукова Л.А. 1995. Популяционная жизнь луговых растений. Йошкар-Ола. 224 с.
37. Коваленко І.М. 2005. Структура популяцій домінантів трав'яно-чагарничкового ярусу в лісових фітоценозах Деснянсько-Старогутського національного природного парку. Віталітетна структура. — Український ботанічний журнал. 62(5): 707–714. <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/163446>
38. Глотов Н.В. 1998. Об оценке параметров возрастной структуры популяций растений. — В сб.: Жизнь популяций в гетерогенной среде. Йошкар-Ола. Ч. 1. С. 146–149.
39. Животовский Л.А. 2001. Онтогенетические состояния, эффективная плотность и классификация популяций растений. — Экология. 1: 3–7. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49956840>
40. Одум Ю. 1975. Основы экологии. М. 740 с.
41. Злобин Ю.А. 1989. Принципы и методы изучения ценологических популяций растений. Казань. 147 с.
42. Гланц С. 1999. Медико-биологическая статистика. М. 462 с.
43. Паценкин И.А. 1967. Экологические шкалы для растений пастбищ и сенокосов горных и равнинных районов Средней Азии, Алтая и Урала. Душанбе. 225 с.
44. Абрамова Л.М., Каримова О.А., Андреева И.З. 2013. К экологии и биологии *Althaea officinalis* L. (Malvaceae) на северной границе ареала (Республика Башкортостан). — Сиб. экол. журн. 20(4): 551–563. https://sibran.ru/journals/issue.php?ID=150215&ARTICLE_ID=150226
45. Каримова О.А., Абрамова Л.М., Голованов Я.М. 2017. Анализ современного состояния популяций редких видов растений памятника природы Троицкие меловые горы (Оренбургская область). — Аридные экосистемы. 23(1(70)): 51–59. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29102377>
46. Чистякова А.А., Кармишина Т.М., Уварова О.Б. 2012. Онтогенез и популяционная экология некоторых галофильных растений Пензенской лесостепи. — Известия ПГПУ им. В.Г. Белинского. Естественные науки. 29: 103–111. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18274631>
47. Акжигитова Н.И. 1982. Галофитная растительность Средней Азии и ее индикаторные свойства. Ташкент. 190 с.

State of *Limonium gmelinii* (Plumbaginaceae) Coenopopulations in the Republic of Khakassia

I. N. Barsukova^{a, *}, V. A. Cheryomushkina^b

^aKatanov Khakass State University, Abakan, Russia

^bCentral Siberian Botanical Garden SB RAS, Novosibirsk, Russia

*e-mail: saphronovairina@mail.ru

Abstract—The study is focused on the characteristic halophyte of Khakassia — *Limonium gmelinii* (Willd.) Kuntze (Plumbaginaceae). There is no information on the structure and assessment of the state of the coenopopulations of *L. gmelinii* in Khakassia. The materials were collected in 2022 from steppe and meadow plant communities with varying degrees of salinity. It was found that *L. gmelinii* coenopopulations are stable. The studied coenopopulations are normal, complete and incomplete. The left-sided type of the ontogenetic spectrum is formed in the alkaline steppe with low total projective cover and sufficient moisture; centered — on slightly saline or almost non-saline substrate of grass-covered steppe and meadow communities under different moisture regimes. The change in the ontogenetic structure and an increase in the undergrowth are associated with seed renewal and ecological and phytocenotic conditions of habitats. The density of individuals depends on the ecological and phytocenotic environment. The maximum total score of organismal and populational characters in *Limonium gmelinii* individuals was observed on slightly saline and practically non-saline soils in the cold sagebrush-grass and sagebrush real steppes of Khakassia. On the steppe meadows with low salinity, extensive grass cover and lack of moisture, the species does not reach the optimum. On highly saline soils, under low competition from related species and sufficient moisture, the total score of organismal and population characters reaches an average value.

Keywords: *Limonium gmelinii*, halophytes, ontogenetic structure, ontogenetic spectrum, saline habitats, steppe communities, meadow communities, Republic of Hakassia

ACKNOWLEDGMENTS

This work was supported by the Russian Science Foundation grant 22-17-20012 <https://rscf.ru/project/22-17-20012/> with matched financial support from the Government of the Republic of Khakassia.

REFERENCES

1. Gontar E.M., Kurochkina N.Yu. 2005. [Age structure of coenopopulations of *Hypericum perforatum* (Clusiaceae), *Polemonium caeruleum* (Polemoniaceae) and *Primula macrocalyx* (Primulaceae) in Khakassia, Altai and Eastern Kazakhstan]. — Rastitelnye resursy. 41(2): 17–28. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=9150184> (In Russian)
2. Vodolazova C.V., Cheryomushkina V.A., Kolegova E.B., Myadelets M.A. 2010. Ontogenesis, structure of coenopopulations and ecological-coenotic characteristics of *Nepeta sibirica* (Lamiaceae) in Khakassia. — Rastitelnye resursy. 46(1): 3–16. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17020773> (In Russian)
3. Leonova T.V., Cheryomushkina V.A., Vodolazova S.V. 2010. Ontogenetic structure of *Coluria geoides* (Rosaceae) populations under different ecological-coenotic conditions in Khakassia. — Rastitelnye resursy. 46(2): 24–32. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17028758> (In Russian)
4. Kolegova E.B., Cheryomushkina V.A. 2015. Ontogenetic structure of *Thymus jensenseensis* (Lamiaceae) coenopopulations in the South Siberia. — Rastitelnye resursy. 51(1): 60–69. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22740096> (In Russian)
5. Karnaukhova N.A. 2015. Ontogenesis and life forms of *Hedysarum* L. (Fabaceae) in South Siberia. — Cont. Probl. Ecol. 8(5): 614–623. <http://doi.org/10.1134/S199542551505008X> (In Russian)
6. Shurupova M.N. 2018. Coenopopulation structure and ontogenesis of *Saussurea baicalensis* (Asteraceae) in Kuznetsk Alatau (Khakassia). — Botanicheskij zhurnal. 103(5): 616–630. <http://doi.org/10.1134/S0006813618050046> (In Russian)
7. Talovskaya E.B., Cheryomushkina V.A., Barsukova I.N. 2020. Architecture of the dwarf shrub *Thymus petraeus* (Lamiaceae) in the conditions of Southern Siberia. — Cont. Probl. Ecol. 13(1): 85–94. <http://doi.org/10.1134/S1995425520010102>
8. Cheryomushkina V.A., Guseva A.A., Makunina N.I., Astashenkov A.Yu., Denisova G.R. 2020. Phytocenotic characteristics, ontogenetic structure and assessment of the state of *Scutellaria scordiifolia* (Lamiaceae) coenopopulations in Siberia. — Rastitelnye resursy. 56(2): 138–150. <http://doi.org/10.31857/S003399462002003X> (In Russian)

9. *Karnaukhova N.A., Syeva S.Ya.* 2022. Status of coenopopulations of *Astragalus austrosibiricus* (Fabaceae) in the Altai Mountains and Khakassia. — *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 3: 31–43. <http://doi.org/10.26897/0021-342X-2022-3-31-43> (In Russian)
10. *Yuritsyna N.A.* 2016. [Vegetation features of saline ecotopes in southeastern Europe and adjacent territories: Abstr. ... Dis. Doct. (Biology) Sci.]. Tolyatti. 36 p. (In Russian)
11. *Limonium gmelinii*. <https://www.plantarium.ru/page/image/id/268405.html>
12. *Astashenkov A.Yu., Grebenjuk A.V.* 2017. Morphological adaptation of individuals and ontogenetic structure of *Limonium gmelinii* (Plumbaginaceae) coenopopulations in conditions of Kulunda steppe (Altay territory). — *Botanicheskij zhurnal*. 102(8): 1136–1149. <http://doi.org/10.1134/S0006813617080063> (In Russian)
13. *Linchevskij I.A.* 1952. *Limonium* Mill. — In: *Flora URSS*. Vol. XVIII. Moscow; Leningrad. P. 411–467. (In Russian)
14. *Kovtonyuk N.K.* 1997. *Limonium* Miller. — In: *Flora of Sibiriae*. T. 11. Pyrolaceae — Lamiaceae (Labiales). Novosibirsk. P. 50–56. (In Russian)
15. *Pignatti S.* 1972. *Limonium* Miller. — In: *Flora Europaea*. V. 3: Diapensiaceae to Myoporaceae. Cambridge. P. 38–50.
16. *Peng T.H., Kamelin R.V.* 1996. Plumbaginaceae. — In: *Flora of China*. V. 15. P. 190–204. <http://flora.huh.harvard.edu/china/mss/volume15/Plumbaginaceae.published.pdf>
17. *Kleshcheva E.A.* 2010. Indicator properties of Southern Siberian plants with respect to soil moisture. — *Russ. J. Ecol.* 41(6): 480–485. <http://doi.org/10.1134/S1067413610060044>
18. *Grigore M.N., Toma C.* 2014. Integrative ecological notes on halophytes from “Valea Ilenei” (Iași) nature reserve. — *Mem. Sci. Sect. Rom. Acad.* 37: 19–36. http://mss.academiaromana-is.ro/mem_sc_st_2014/2_Grigore.pdf
19. *Korolyuk A.Yu.* 2014. Plant communities of the class *Festuco–Brometea* in the West Siberian Plane. — *Rastitelnost' Rossii*. 25: 45–70. <https://doi.org/10.31111/vegus/2014.25.45> (In Russian)
20. *Lebedeva S.A., Grechushkina N.A., Lebedev E.A.* 2012. Communities of the Camphorosmo–Suaedion corniculatae from the southern part of the Minussinskaya basin. — *Izvestia RAS SamSC*. 1(4). http://www.ssc.smr.ru/media/journals/izvestia/2012/2012_1_1054_1057.pdf (In Russian)
21. *Daraban I.-N., Mihali C.V., Turcuș V., Ardelean A., Arsene G.-G.* 2013. ESEM and EDAX observations on leaf and stem epidermal structures (stomata and salt glands) in *Limonium gmelinii* (Willd.) Kuntze. — *Ann. Romanian Soc. Cell Biol.* 18(1): 123–130.
22. *Zorić L.N., Anačkov G.T., Karanović D.S., Luković J.Ž.* 2013. Leaf structural adaptations of two *Limonium* Miller (Plumbaginales, Plumbaginaceae) taxa. — *Zbornik Matice srpske za prirodne nauke*. 125: 43–54. <http://doi.org/10.2298/ZMSPN1325043Z>
23. *Vestek A., Knežević J., Janjić Đ., Rat M., Anačkov G.* 2016. *Limonium gmelinii* (Willd.) O. Kuntze in Serbia and Republic of Macedonia: analysis of morphological variability. — *Biologia Serbica*. 38(1): 3–11. <http://doi.org/10.5281/zenodo.48467>
24. *Malekmohammadi M., Lack H.W., Lomonosova M., Akhane H.* 2017. The discovery, naming and typification of *Limonium gmelinii* (Plumbaginaceae). — *Willdenowia*. 47(2): 99–106. <http://doi.org/10.3372/wi.47.47201>
25. *Movsumov I.S., Garaev E.A.* 2012. Compounds and biological activity of *Limonium* (Limoniaceae) species. — *Rastitelnye resursy*. 48(2): 288–293. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17775357> (In Russian)
26. *Lovinskaya A.V., Kolumbayeva S.Zh., Shalakhmetova T.M., Marsova M.V., Abilev S.K.* 2017. Antigenotoxic activity of biologically active substances from *Inula britannica* and *Limonium gmelinii*. — *Russ. J. Genet.* 53(12): 1311–1319. <http://doi.org/10.1134/S1022795417120080>
27. *Kuminova A.V., Maskaeu Yu.M.* 1976. [Geobotanical zoning]. — In: [Vegetation cover of Khakassia]. Novosibirsk. P. 309–367. (In Russian)
28. *Korchagin A.A.* 1964. [Species (floristic) composition of plant communities and the methods of its investigation]. — In: [Field geobotany]. V. 3. Moscow; Leningrad. P. 39–62. (In Russian)
29. *The Plant List*. <http://www.theplantlist.org/>
30. *Rabotnov T.A.* 1950. [Life cycle of perennial herbaceous plants in meadow coenoses]. — *Trudy BIN AN SSSR*. 3(6): 7–196. (In Russian)
31. *Rabotnov T.A.* 1950. [The problems of studying population composition for the purposes of phytocoenology]. — *Problemy botaniki*. 1: 465–483. (In Russian)
32. *Uranov A.A.* 1975. The age spectrum of coenopopulations as a function of time and energy wave processes. — *Biologicheskie nauki*. 2: 7–34. (In Russian)
33. [Plant coenopopulations: basic concepts and structure]. 1976. Moscow. 217 p. (In Russian)
34. [Plant coenopopulations: essays on population biology]. 1988. Moscow. 184 p. (In Russian)
35. *Zaugolnova L.B.* 1994. [The structure of populations of seed plants and the problems of their monitoring: Dis. ... Doct. (Biology) Sci.]. St. Petersburg. 70 p. (In Russian)
36. *Zhukova L.A.* 1995. [Population life of meadow plants]. Yoshkar-Ola. 224 p. (In Russian)

37. *Kovalenko I.M.* 2005. The structure of populations, which dominant in ground layer of woody phytocenosis at national nature park Desnyansk-Starogutsky. I. Age structure. — Ukrainian botanical journal. 62(5): 707–714. <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/163446> (In Ukrainian)
38. *Glotov N.V.* 1998. [On the estimation of the parameters of the age structure of plant populations]. — In: [Life of populations in heterogeneous environment]. Part 1. Yoshkar-Ola. P. 146–149. (In Russian)
39. *Zhivotovsky L.A.* 2001. Ontogenetic states, effective density and classification of plant populations. — *Ekologiya*. 32(1): 1–5. <https://doi.org/10.1023/A:1009536128912>
40. *Odum Yu.* 1975. [Fundamentals of ecology]. Moscow. 740 p. (In Russian)
41. *Zlobin Yu.A.* 1989. [Principles and methods for studying coenotic populations of plants]. Kazan. 147 p. (In Russian)
42. *Glantz S.* 1999. [Biomedical statistics]. Moscow. 462 p. (In Russian)
43. *Tsatsenkin I.A.* 1967. [Ecological scales for plants of pastures and hayfields in alpine and plain regions of Central Asia, Altai and the Urals]. Dushanbe. 225 p. (In Russian)
44. *Abramova I.M., Karimova O.A., Andreeva I.Z.* 2013. On the ecology and biology of *Althaea officinalis* L. (Malvaceae) at the northern boundary of its range (Republic of Bashkortostan) — *Cont. Probl. Ecol.* 6(4): 415–425. <https://doi.org/10.1134/S199542551304001X>
45. *Karimova O.A., Abramova L.M., Golovanov Ya.M.* 2017. Analysis of the current status of populations of rare plant species of nature monument Troicki chalk mountains (Orenburg region). — *Arid Ecosyst.* 7(1): 41–48. <https://doi.org/10.1134/S2079096117010073>
46. *Chistyakova A.A., Karmishina T.M., Uvarova O.B.* 2012. Developmental biology and population ecology of some of halophilic plants of the forest-steppe. — *Izvestiya PGPU im. V.G. Belinskogo. Natural Sciences.* 29: 103–111. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18274631> (In Russian)
47. *Akzhigitova N.I.* 1982. [Halophyte vegetation of Central Asia and its indication properties]. Tashkent. 190 p. (In Russian)

АНТРОПОГЕННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА РАСТИТЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ

СОСТОЯНИЕ И УСТОЙЧИВОСТЬ ЛЕСОВ РЕГИОНА С ЭКСТРЕМАЛЬНОЙ АНТРОПОГЕННОЙ ТРАНСФОРМАЦИЕЙ (НА ПРИМЕРЕ ОКСКОГО БАССЕЙНА)

© 2023 г. Э. Г. Коломыц¹ *, Л. С. Шарая², С. М. Севостьянов¹

¹Пушчинский научный центр РАН, Институт фундаментальных проблем биологии, г. Пушкино, Россия

²Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии им. Д.Н. Прянишникова, г. Москва, Россия

*e-mail: egk2000@mail.ru

Поступила в редакцию 07.07.2022 г.

После доработки 09.03.2023 г.

Принята к публикации 24.04.2023 г.

Проведен анализ лесистости, средней сомкнутости крон и индексов функциональной устойчивости лесов Окского бассейна. С учетом гидро-экологической роли лесов эти параметры дифференцированы по воднохозяйственным участкам. Прогрессирующее снижение лесопокрываемых площадей, изреживание древостоев и дефолиация крон подтверждают обоснованность отнесения Окского бассейна к территориям Европейской России с катастрофической экологической ситуацией. Почти вся территория широколиственных лесов бассейна (т.е. северная подзона лесостепной зоны) облесена не более чем на 10–20%, с сомкнутостью крон не более 40–50%, что приближает значительную часть лесных массивов к редколесному гемиксерофитному состоянию. С помощью разработанных авторами методов рассчитаны индексы резистентной и пластично-упругой устойчивости лесов и построены соответствующие карты. Установлено, что замещение коренных смешанных и широколиственных лесов вторичными мелколиственными ведет к общему усилению динамичности лесных сообществ: повышается их чувствительность к возмущающим сигналам и ускоряются сукцессионные смены, стремящиеся привести их в прежнее, либо новое устойчивое состояние. Проведена ординация лесных формаций Окского бассейна по градиентам индексов резистентной и упруго-пластичной устойчивости. Подавляющее большинство формаций характеризуются высокой чувствительностью к сигналам внешних возмущений, но в то же время — достаточно развитыми механизмами экогенетических сукцессий, олицетворяющих их упруго-пластичную устойчивость. Это свидетельствует о высоком лесовосстановительном потенциале деградированных земель Окского бассейна.

Ключевые слова: лесные экосистемы, спутниковое зондирование, картографирование, лесистость, сомкнутость крон, резистентная и пластично-упругая устойчивость

DOI: 10.31857/S0033994623020073, **EDN:** ZMYBKT

Одним из трех мировых центров дестабилизации глобальной окружающей среды, где сформировалось единое пространство с полностью нарушенным лесным покровом площадью в несколько миллионов квадратных километров и где местами сохранилось не более 5–10% естественных экосистем [1], является Среднее Поволжье и в особенности его наиболее антропогенно измененная часть — Окский бассейн. В системе районирования территории России по остроте экологической ситуации [2] Окский бассейн относится к территориям с *катастрофической ситуацией*, на которых антропогенные нагрузки превышают нормативные величины и экологические требования. Это привело к истощению природных ресурсов, с потерей более 50% фитомассы, а также к значительной утрате генофонда и уникальных природных объектов [1].

Даже в таежной зоне Русской равнины к началу 90-х гг. прошлого столетия осталось ненарушенной немногим более 60% лесных территорий. В результате на территории Европейской России произошли кардинальные биоклиматические изменения зонального масштаба: "... распахка черноземной полосы ... привела фактически к объединению степной и лесостепной зон в единую пахотно-степную зону с лесами, сохранившимися в балках и долинах рек. Зоны широколиственных и смешанных лесов Русской равнины превратились в пахотно-лесную зону" [3, с. 70].

Окский бассейн составляет около 0.2% суши Земли, и его лесной покров в настоящее время составляет менее 1% площади лесов России. Общие запасы углерода по всем лесам нашей страны оцениваются величинами от 24.4 до 32.9 Гт [4]. Следовательно, на 1% площади российских лесов

приходится в среднем 2.86 Гт углерода, что почти в два раза больше суммарного углеродного запаса в лесах Окского бассейна (1.48 Гт). Такова общая потеря этими лесами ресурсов по биотической регуляции окружающей среды.

По имеющимся данным [5, 6], за период с конца XVII в. и до 1914 г. общая облесенность Средней полосы Европейской России сократилась с 50 до 32% (за счет вырубки лесов, главным образом в южных лесостепных районах). За последнее 30-летие XX века средняя лесистость Верхневолжско-Окского региона снизилась: в подзоне южной тайги — с 75 до 61%, в зоне смешанных лесов — с 65 до 40%, в подзоне широколиственных лесов — с 50 до 25% и менее. В настоящее время преобладают территории с лесистостью от 0–10 до 25%. Существенные ухудшения, произошедшие в лесном хозяйстве страны за этот период, в частности 2–2.5-кратное сокращение деятельности по сохранению и расширенному воспроизводству коренных лесов, созданию лесных культур и лесоразведению на сельскохозяйственных землях, значительно осложнили проблему перехода к устойчивому управлению лесами [7]. В полной мере это относится и к лесам Окского бассейна.

Структурно-функциональное “расшатывание” лесной экосистемы ведет к негативным изменениям в водном балансе лесопокрываемой территории — прежде всего к переводу значительной части почвенно-грунтового стока в сток поверхностный и к изменению соотношений расходных статей водного баланса (суммарного испарения и стока), что нарушает устойчивость годового водного режима всего речного бассейна, с развитием эрозионных процессов [8, 9 и др.]. В условиях избыточного атмосферного увлажнения сплошные рубки леса приводят к заболачиванию территорий, а при недостатке влаги — вызывают общее падение годового стока, с обмелением и даже исчезновением малых и средних водотоков. Так, вследствие “неистощимого и расширенного лесопользования”, а также интенсивной распашки за последние 130 лет Подмоскovie потеряло 28% своих рек, а в лесостепной зоне Окского бассейна площадь смытых пахотных почв достигла 10–20% [10]. При интенсивном загрязнении атмосферы и почвы (особенно в условиях высокоурбанизированной среды) ведущая роль в биологическом круговороте переходит от автотрофного биогенеза (анаболизма) к детритной ветви (катаболизму), что является одной из форм адаптации лесного сообщества к геохимическому воздействию с целью поддержания своей устойчивости [11].

Таким образом, дальнейшее сохранение и возобновление лесных ресурсов на территории Окского бассейна, входящего в демографическое и индустриальное “ядро” Европейской России, не-

обходимо отнести к числу актуальных экологических проблем нашей страны. Важное место в решении этой проблемы может занять оценка современной лесистости территории бассейна, а также устойчивости коренных и вторичных лесов к внешним воздействиям. Анализ устойчивости лесов, особенно применительно к лесодефицитным территориям, имеет прямое отношение к решению научно-практических задач сохранения лесных (а с ними и водных) ресурсов. Еще Г.Ф. Морозов [12] ставил перед лесоводами задачу такого рационального лесопользования, при котором лес мог сохранить свою “биологическую устойчивость и производительность” с возможностью быстрого естественного возобновления коренных типов леса, которые отличаются, как он полагал, более высокой устойчивостью по сравнению с их антропогенными дериватами.

Устойчивость представляет собой кульминационную точку всех экологических зависимостей [13]. Значение устойчивости как экологического синтеза определяется тем, что данное свойство природной среды является замыкающим звеном в сети межкомпонентных связей, определяющих функциональную организацию экосистем. На параметрах устойчивости концентрируется наибольшее число значимых ландшафтно-экологических связей, что и обуславливает высокую индикаторную способность этих параметров [14].

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Рассматриваемые нами единицы растительного покрова взяты из Геоботанических карт Европейской России, созданных 70–80-х гг. прошлого столетия [15, 16]. Эти геоботанические материалы не потеряли своей актуальности до настоящего времени. Установлено, что за период 1968–2008 гг. в Европейской части России площади земель, покрытых и не покрытых лесом, изменились на 6–8% (что едва превышает точность самого геоботанического картографирования) [17]. Несущественные изменения произошли и в породной структуре лесов. Доля хвойных пород в составе покрытых лесом земель снизилась на 4%, а доля мягколиственных пород увеличилась на 5%, что означало некоторое “... снижение доли коренных, хозяйственно ценных хвойных и твердолиственных пород”. В целом же “породная структура твердолиственных лесов ... оставалась относительно стабильной” [17, с. 39]. Незначительно изменилось также соотношение площадей с различной возрастной структурой лесов. Некоторые сдвиги коснулись лишь наиболее молодых и приспевающих древостоев.

Надежная наземная информация об изменении состояния лесов России за первое 10-летие XXI в. отсутствует, поскольку были учтены не более 70% площадей лесов страны [7]. По спутнико-

вым же данным, в течение 2000–2015 гг. площадь лесов России сократилась всего на 2,4%, причем у темнохвойных, светлохвойных и лиственных пород это уменьшение составило соответственно 7,8, 1,9 и 5,8% [19].

Новейшая “Карта лесных экосистем Северной Евразии”, составленная по спутниковым данным SPOT-Vegetation [18, 20] не могла быть использована. Легенда к этой карте включает несколько классов и 18 типологических единиц фитоценологических ареалов, которые авторами названы “типами растительности”. Для лесной зоны выделены шесть таких “типов”: 1) хвойные вечнозеленые; 2) лиственные вообще, с разделением на твердо- и мягколиственные; 3) смешанные с преобладанием хвойных; 4) смешанные; 5) смешанные с преобладанием лиственных; 6) хвойные листопадные. Подобная классификация лесов имеет скорее лесопромышленное, нежели лесоведческое предназначение, что затрудняет интерпретацию этой карты в свете классических законов лесной биогеоценологии [21]. Такие категории лесов не соответствуют принятому в традиционной геоботанике содержательному смыслу понятий “классы растительных формаций” и “типы растительности” [22]. В особенности это касается необходимого для нашего анализа разделения лесов на коренные (первичные) и производные (вторичные), что совершенно отсутствует в карте лесов, построенной по спутниковым данным.

Анализ состояния и устойчивости лесного покрова Окского бассейна проведен по его воднохозяйственным участкам (ВХУ), что ассоциировалось с известной гидро-экологической ролью леса [8, 12]. Согласно Водному кодексу России, воднохозяйственный участок — это часть речного бассейна, имеющая характеристики, позволяющие установить лимиты забора водных ресурсов из водного объекта и другие параметры водопользования.

Для определения площадей, занятых лесами в ВХУ Окского бассейна, были использованы спутниковые данные [23], которые получены с аппарата SPOT4-VEGETATION и обработаны в рамках проекта Объединенного Центра Европейской Комиссии GLC 2000 (Global Land Cover). Эти материалы находятся на сайте Института космических исследований РАН.

С помощью трех ГИС программ: ArcView, Аналитическая ГИС Эко [24] и MapInfo был произведен импорт данных по лесистости и сомкнутости крон, а также перевод их в нужные форматы. Это позволило выполнить картографические преобразования указанных данных для совмещения их с картой Окского бассейна и воднохозяйственными участками. Каждый элемент матрицы лесов в исходных материалах представлял квадрат со стороной около 360 м с идентификатором, который различал упомянутые выше 6 “типов” леса, выде-

ленных по спутниковым данным [20] по преобладающим породам, а внутри каждого из них — редкостойные и сплошные лесные массивы. Для определения лесистости в каждом ВХУ рассчитывалось число элементов матрицы, в которых наблюдался лес, по данным [22], и определялась покрытая лесами площадь. Процент площади ВХУ, занятой лесом, определяет показатель лесистости (рис. 1).

Для формирования карты сомкнутости крон использовались глобальные спутниковые данные MODIS-VEGETATION по растительному покрову планеты, подготовленные NASA и Institute for Advanced Computer Studies of University of Maryland [24]. Было произведено преобразование этих матричных данных в матрицу сомкнутости крон деревьев с элементами 500×500 м. Затем проводилось объединение полученных данных с картой ВХУ Окского бассейна. Это позволило провести расчет и картографирование средних значений сомкнутости крон по 45 воднохозяйственным участкам (рис. 2). Диапазоны интервалов значений сомкнутости крон определялись по средним значениям, рассчитанным для каждого ВХУ с тем, чтобы сомкнутость крон по всем ВХУ бассейна можно было сравнивать визуально.

Известные в ландшафтной экологии подходы к оценке устойчивости природных комплексов остаются преимущественно качественными, с такими дефинициями, как “устойчивость слабая, средняя, высокая” и т.п. [11, 25]. Нами был применен более строгий количественный подход, опирающийся на такие характеристики малого биологического круговорота, которые, с одной стороны, вносят основной вклад в устойчивость гео(эко-)системы, а с другой, — вполне доступны для измерений и получения массового эмпирического материала [15, 26].

Прежде всего, необходимо различать *два альтернативных типа устойчивости экосистем*, по Ю. Одуму [27] — *резистентную* и *упруго-пластичную*. Резистентная устойчивость характеризует степень чувствительности экосистемы к первоначальным сигналам внешних воздействий. Система начинает трансформироваться, когда сигнал превышает определенный порог ее чувствительности. Упруго-пластичная же устойчивость характеризует способность системы к восстановлению равновесия, нарушенного воздействием, т.е. к определенному возврату характеристик метаболизма к их прежним значениям, либо к частичному или полному переходу системы в новое устойчивое состояние. В последнем случае проявляются свойства пластичности экосистемы, обусловленные механизмами адаптации [28]. Упруго-пластичная устойчивость проявляется в динамике как экогенетических (восстановительных), так и экзогенных сукцессий, согласно работам В.Н. Сукачева [21].

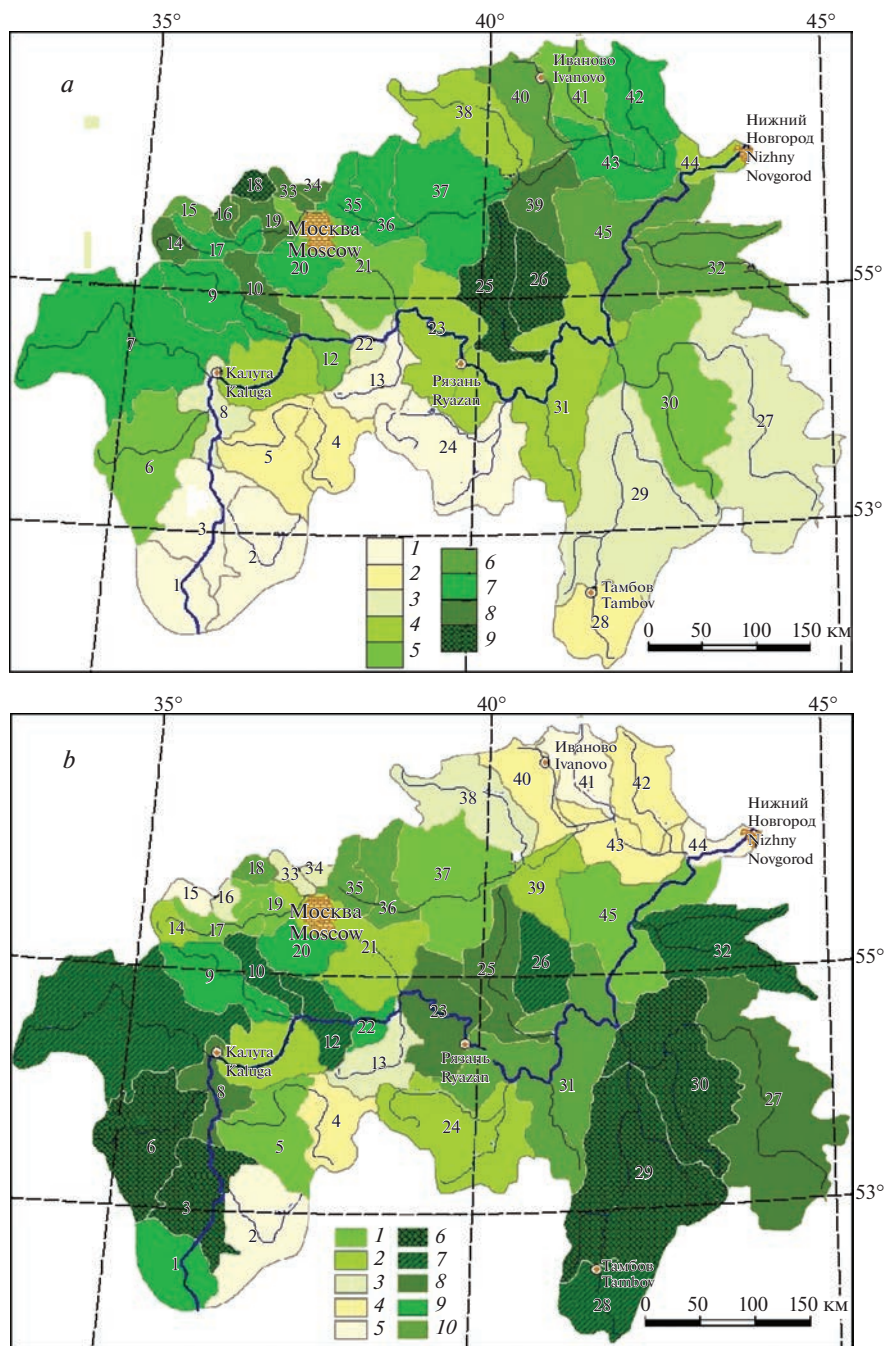


Рис. 1. Лесопокрытая площадь (а) и средняя сомкнутость крон (b) в пределах воднохозяйственных участков Окского бассейна. Площадь, занятая лесом, %: 1 – 2.4–10; 2 – 10–20; 3 – 20–30; 4 – 30–40; 5 – 40–50; 6 – 50–60; 7 – 60–70; 8 – 70–80; 9 – 80–83.7.

Средняя сомкнутость крон, %: 1 – 38.5–44.3; 2 – 44.3–45.6; 3 – 45.6–47.9; 4 – 47.9–49.4; 5 – 49.4–50.4; 6 – 50.4–52.3; 7 – 52.3–54.2; 8 – 54.2–56.1; 9 – 56.1–59.2; 10 – 9.2–63.6.

1, 2, 3, ... – номера воднохозяйственных участков.

Fig. 1. Wooded areas (a) and average canopy density (b) within the limits of water management areas of the Oka River basin.

Wooded areas, %: 1 – 2.4–10; 2 – 10–20; 3 – 20–30; 4 – 30–40; 5 – 40–50; 6 – 50–60; 7 – 60–70; 8 – 70–80; 9 – 80–83.7. Average canopy density, %: 1 – 38.5–44.3; 2 – 44.3–45.6; 3 – 45.6–47.9; 4 – 47.9–49.4; 5 – 49.4–50.4; 6 – 50.4–52.3; 7 – 52.3–54.2; 8 – 54.2–56.1; 9 – 56.1–59.2; 10 – 9.2–63.6.

1, 2, 3, ... – numbers of the water management areas.

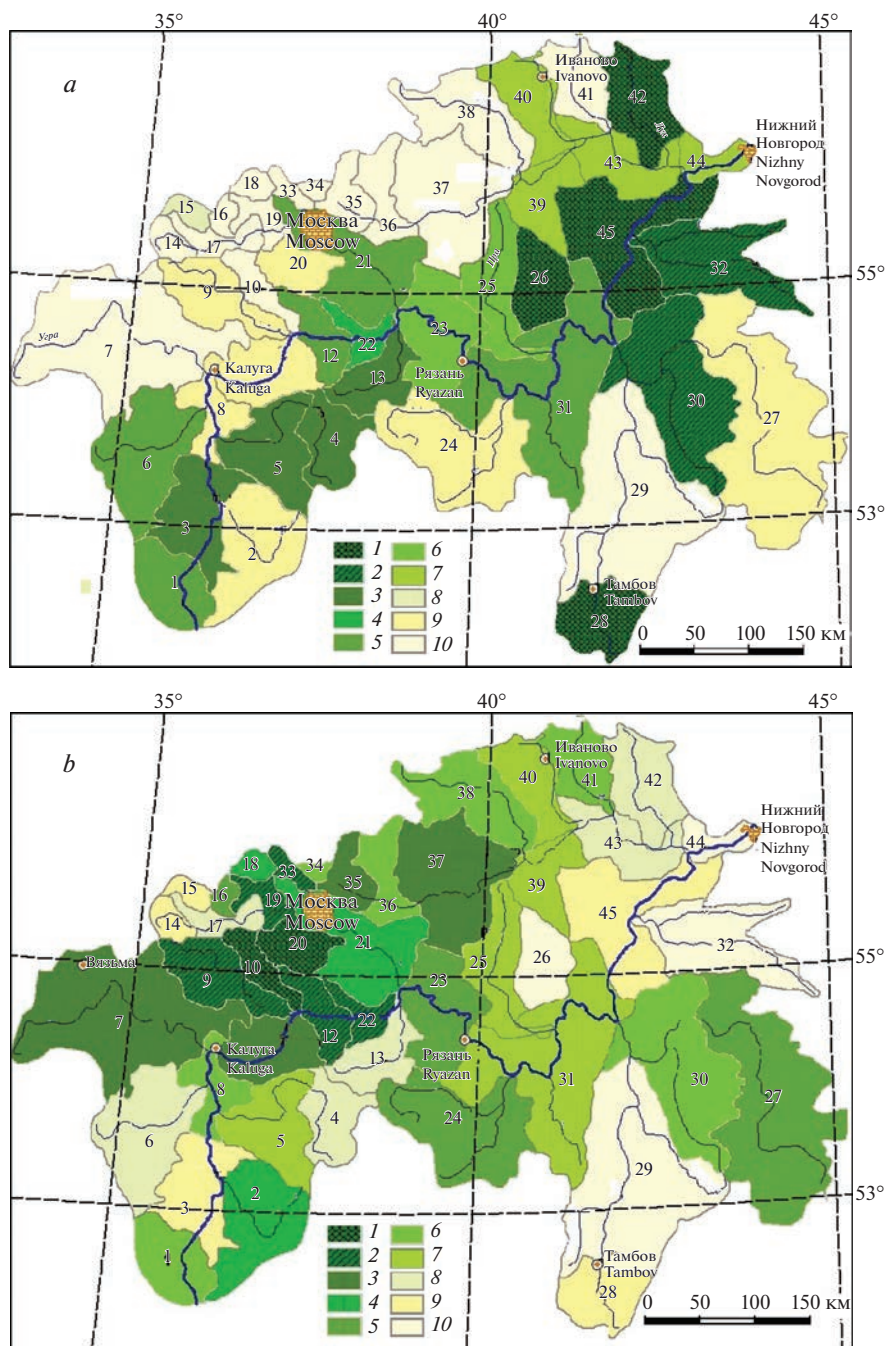


Рис. 2. Средние значения индексов резистентной (а) и упруго-пластичной (б) устойчивости лесных формаций Окско-го бассейна по воднохозяйственным участкам.

Индексы резистентной устойчивости: 1 – 0.245–0.283; 2 – 0.283–0.310; 3 – 0.310–0.340; 4 – 0.340–0.384; 5 – 0.384–0.395; 6 – 0.395–0.419; 7 – 0.419–0.420; 8 – 0.420–0.475; 9 – 0.474–0.514; 10 – 0.514–0.558.

Индексы упруго-пластичной устойчивости: 1 – 0.40–0.491; 2 – 0.491–0.506; 3 – 0.506–0.516; 4 – 0.516–0.531; 5 – 0.531–0.549; 6 – 0.549–0.563; 7 – 0.563–0.569; 8 – 0.569–0.597; 9 – 0.597–0.652; 10 – 0.652–0.654.

1, 2, 3, ... – номера воднохозяйственных участков.

Fig. 2. Mean values of resistance (a) and elastic-plastic (b) stability of forest formations of the Oka River basin in relation to the water management areas.

Index of the resistance stability: 1 – 0.245–0.283; 2 – 0.283–0.310; 3 – 0.310–0.340; 4 – 0.340–0.384; 5 – 0.384–0.395; 6 – 0.395–0.419; 7 – 0.419–0.420; 8 – 0.420–0.475; 9 – 0.474–0.514; 10 – 0.514–0.558.

Index of the elastic-plastic stability: 1 – 0.40–0.491; 2 – 0.491–0.506; 3 – 0.506–0.516; 4 – 0.516–0.531; 5 – 0.531–0.549; 6 – 0.549–0.563; 7 – 0.563–0.569; 8 – 0.569–0.597; 9 – 0.597–0.652; 10 – 0.652–0.654.

1, 2, 3, ... – numbers of the water management areas.

Оба типа потенциальной устойчивости лесных экосистем оценивались нами на основе двух комплексных дискретных параметров метаболизма, согласно [27, 28], – коэффициента годового оборота надземной фитомассы ($KR = PV/BL$) и подстилично-опадного индекса ($KY = PV/ML$). Здесь PV – годовая продукция зеленой массы, BL – общая живая надземная фитомасса, ML – масса лесной подстилки. Оба параметра служат мерами начальной обеспеченности продвижения органического вещества (и энергии) по все трофической цепи и, следовательно, характеризуют “работу” растительного вещества по устойчивому функционированию всей экосистемы.

Мера устойчивости экосистемы находилась путем исчисления территориальных вариаций некоторой функции состояния экосистем в пределах определенной статистической выборки. Индекс упруго-пластичной устойчивости $I_{\text{упр}}$ элементарной лесной экосистемы (биогеоценоза) рассчитывался как мера i -го евклидова расстояния от ее оптимального функционального состояния по формуле:

$$I_{\text{упр}} = 1 - \left[\sqrt{(\Delta KR)^2 + (\Delta KY)^2} \right] / \sqrt{2}, \quad (1)$$

где $(\Delta KR) = (KR_{\text{max}} - KR_i) / (KR_{\text{max}} - KR_{\text{min}})$; $(\Delta KY) = (KY_i - KY_{\text{min}}) / (KY_{\text{max}} - KY_{\text{min}})$.

Индекс устойчивости, таким образом, оценивался в безразмерных единицах. Если $KR_i \rightarrow KR_{\text{max}}$ и $KY_i \rightarrow 0$ то $I_{\text{упр}} \rightarrow 1$. Аналогично вычислялся индекс потенциальной резистентной устойчивости $I_{\text{рез}}$ лесного биогеоценоза. В этом случае за оптимумы принимались минимальное значение KR и максимальное – KY . Индекс резистентной устойчивости стремится к единице при $KR_i \rightarrow KR_{\text{min}}$ и $KY_i \rightarrow KY_{\text{max}}$. Поскольку минимальные и максимальные значения KR и KY берутся из конкретной статистической выборки, то очевидно, что каждый из индексов характеризует не абсолютную, а относительную устойчивость экосистемы в пределах территории, которой эта выборка соответствует.

Аналитическое и картографическое моделирование устойчивости единиц растительности Окского бассейна проведено путем построения их дискретных эмпирико-статистических моделей, по классификации [31]. Были использованы материалы крупномасштабных ландшафтно-экологических съемок, проведенных в 1987–1996 гг. по специально разработанной методике на шести экспериментальных полигонах, расположенных на территории Окского бассейна [15]. Полигоны охватывают практически весь спектр зональных экосистем бассейна – от южной полосы подтаежной зоны до подзоны южной лесостепи.

Материалы, собранные на экспериментальных полигонах, позволили рассчитать и закарти-

ровать параметры устойчивости лесных сообществ в ранге биогеоценозов и их групп. Переход с локального уровня оценок устойчивости лесов на региональный осуществлялся с помощью метода *индукционно-иерархической экстраполяции*, который использует непосредственно материалы полевых ландшафтно-экологических съемок [15]. Процедура экстраполяции основана на эмпирически установленном явлении полизональности локальных экосистем как формы их реакции на глобальные изменения климата [15] и на использовании новых методов геоморфометрической статистики [31]. Локальные зональные системы состоят из векторных рядов плакорных биогеоценозов, отражающих зонально-региональный фон данной территории, и экстразональных топоэко-систем, как представителей других зональных типов географической среды. Такие ряды должны быть адекватны вектору прогнозируемых изменений климата, с тем чтобы имитировать основные направления экосистемных перестроек.

Каждый тип/подтип единиц растительного покрова, выделенный на мелкомасштабной геоботанической карте, идентифицировался определенной группой биогеоценозов из их плакорно-экстразонального ряда (табл. 1). Затем каждый ареал данной единицы растительного покрова, представленный как *поливекторное множество мезокатен*, дробился на региональные типы местоположений, т.е. мезогеотопы – от элювиального и трансэлювиального типов до аккумулятивного и супераккумулятивного, согласно ландшафтно-геохимической классификации [33, 34]. Создавалась промежуточная карта типов мезоместоположений на всю лесопокрытую площадь региона. Принимая, согласно концепции ландшафтных сопряжений Б.Б. Полюнова, мезокатену в качестве гомоморфного образа микрокатены, разности имеющиеся биогеоценозы всех выделенных групп из каждого экспериментального полигона по мезогеотопам соответствующего ему геоботанического ареала. Полученная таким образом региональная фито-катенарная мозаика территории Окского бассейна насыщалась индексами резистентной и упругой устойчивости растительных формаций (табл. 2).

Наконец, по каждому водохозяйственному участку бассейна рассчитывались средневзвешенные значения $I_{\text{упр}}$ и $I_{\text{рез}}$ в соответствии с площадной долей участия в этом ареале тех или иных единиц растительного покрова. “Весами” служили доли (относительные площади) этих ареалов в пределах данного ВХУ. Эти доли рассчитывались средствами ГИС MapInfo. Сумма отвечающих долей весовых коэффициентов (“весов”) равнялась единице. Каждому ВХУ приписывалось средневзвешенное значение индекса резистентной (или упруго-пластичной) устойчивости. Для формирования карт средних по ВХУ значений индексов

Таблица 1. Пример индукционно-иерархической экстраполяции групп лесных фитоценозов подтаежного елово-широколиственного биома (политон Зеленый Город) на зонально-региональные картируемые типологические единицы растительного покрова
Table 1. Sub-taiga spruce-broadleaf biome (Zeleny Gorod test site). An example of induction-hierarchical extrapolation of groups of forest phytocoenoses to zonal and regional mapped typological land cover units

Номер пробной площади Sample plot number	Экспозиция Exposition	Тип местоположения Type of site	Зональная группа фитоценоза Zonal group of phytocoenosis	Типологические единицы растительного покрова*, соответствующие растительному сообществу данного биогеоценоза Typological units of vegetation cover* corresponding to plant community of a given biogeocoenosis
33	Гориз. Horizontal	Трансаккумулятивный Trans-accumulative	Бореальная таежная Boreal taiga	Североевропейские среднетаежные еловые кустарничково-зеленомош- ные леса North European middle taiga spruce-shrub—green moss forests
1	С N	Элювиальный Eluvial	Бореальная таежная Boreal taiga	Североевропейские южнетаежные еловые кустарничково-травяные леса, с участием неморальных элементов North European southern taiga spruce-shrub-grass forests with nemoral species
39	ЮЮВ SSE	Транзитный Transit	Неморально-бореальная Nemoral-Boreal	Предуральские южнетаежные пихтово-еловые леса, неморальнотравяно- кисличные, с участием липы Cis-Ural southern taiga fir—spruce forests, nemoral-grass—oxalis, with linden
20	ЮВ SE	Трансэлювиальный Transeluvial	Бореально-неморальная Boreal-Nemoral	Подтаежные широколиственно-еловые неморальнотравяные леса Sub-taiga broadleaf—spruce nemoral grass forests
47	Гориз. Horizontal	Трансэлювиальный Transeluvial	Бореальная боровая Boreal pine Forest	Североевропейские средне- и южнетаежные сосновые (с примесью ели и березы) зеленомошные и кустарничковые леса North European middle and southern taiga pine (with admixture of spruce and birch) green moss and shrub forests
11	ЮЗ SW	Транзитный Transit	Неморально-бореальная Nemoral-Boreal	Североевропейские подтаежные широколиственно-сосновые леса, с елью, лещиновыми, разнотравно-злаковые North European sub-taiga broadleaf—pine forests, with spruce, hazel, forb-grass
19	Гориз. Horizontal	Элювиальный Eluvial	Неморальная Европейская Nemoral European	Среднерусско-приволжские северные (с примесью ели) дубовые и липово-дубовые неморальнотравяные леса Central Russian Volga northern (with admixture of spruce) oak and linden—oak nemoral grass forests
14	Гориз. Horizontal	Элювиальный Eluvial	Неморальная Евроазиатская Nemoral Eurasian	Уральские горные и предгорные кленово-липово-дубовые злаково-высо- котравно-папоротниковые леса Ural mountain and piedmont maple—linden—oak grass-tall grass-fern forests
8	Гориз. Horizontal	Трансаккумулятивный Trans-accumulative	Неморальная Евроазиатская Nemoral Eurasian	Среднерусские липовые, с примесью дуба, клена, ильма, злаково-разно- травные леса Central Russian linden, with an admixture of oak, maple, elm, grass-forb forests

Примечание. *Даны по Грибова и др. [41].

Note. *Given after Gribova et al. [41].

Таблица 2. Средневзвешенные нормы резистентной и упруго-пластичной устойчивости разных типологических единиц растительности на территории Окского бассейна
Table 2. Taxonomic (weighted average) norms of resistance and elastic-plastic stability for different typological units of vegetation of the Oka River basin

Региональные конгломерации формаций и групп формаций Regional conglomerations of formation groups and formations	Формации и группы формаций Formations and groups of formations	Картируемые типологические единицы растительного покрова* Mapped typological land cover units*	Индекс устойчивости Stability index	
			резистентной resistance	упруго-пластичной elastic-plastic
Северо-европейские еловые леса North European spruce forests	а). Еловые южнотаежные и широколиственно-еловые (подтаежные) леса и производные сообщества на их месте Spruce southern taiga and broadleaf spruce (sub-taiga) forests and derived communities in their place	1 (48 б). Ельники южнотаежные зеленомошно-кустарничковые Southern taiga green moss—grass—dwarf shrub—spruce forests	0.568	0.390
		2 (50, 51). Южнотаежные березняки и осинники, лесные угодья Southern taiga birch and aspen forests and forest lands	0.310	0.567
		3 (52). Ельники с сосной, сложенные, неморально-травяные Multilayered nemoral-grass—spruce forests with pine	0.606	0.284
		4 (53). Широколиственно-еловые неморально-травяные леса Broadleaf—spruce nemoral grass forests	0.338	0.460
		5 (54). Березово-черноольховые с елью болотно-крупнотравные леса Tall-grass birch—black alder bog forests with spruce	0.270	0.627
		6 (55). Подтаежные березняки и осинники, неморально-травяные Nemoral grass subtaiga birch and aspen forests	0.247	0.671
		7 (56). Подтаежные фрагментарные лесные угодья Sub-taiga fragmentary forest lands	0.268	0.652

Таблица 2. Продолжение

Региональные конгломерации формаций и групп формаций Regional conglomerations of formation groups and formations	Формации и группы формаций Formations and groups of formations	Картируемые типологические единицы растительного покрова* Mapped typological land cover units*	Индекс устойчивости Stability index	
			резистентной resistance	упруго-пластичной elastic-plastic
Северо-европейские сосновые и широколиственные леса North European pine and broadleaf-pine forests	б) Сосновые средне- и южнотаежные леса Pine middle and southern taiga forests	8 (76). Сосняки, с елью и березой, кустарничково-зеленомошные Dwarf shrub—green moss pine forests with spruce and birch	0.446	0.398
		9 (78). Сосняки, с березой, кустарничковые долгомошно-сфагновые Dwarf shrub— <i>Polytrichum</i> — <i>Sphagnum</i> pine forests with birch	0.388	0.587
		10 (76 ¹). Сосняки зеленомошные и сфагновые, с верховыми болотами Green moss and <i>Sphagnum</i> pine forests with raised bogs	0.468	0.485
		11 (76 ³). Сосняки с елью, зеленомошно-сфагновые, с евтрофными болотами Pine forests with spruce, green moss-sphagnum, with eutrophic bogs	0.384	0.601
		12 (79, 80). Березняки травяно-кустарничковые, лесные угодья Birch forests grass—shrub, forest lands	0.268	0.322
Широколиственно-сосновые леса и производные сообщества на их месте Broadleaf—pine forests and derived communities in their place		13 (81). Сосняки кустарничково-травяные с дубом и липой в подлеске Pine forests dwarf—herbaceous, with oak and linden in the undergrowth	0.514	0.434
		14 (84). Широколиственно-сосновые леса чернично-разнотравно-злаковые Broad—leaved—pine forests of blueberry—forb—grass	0.419	0.457
		15 (81 ¹). Сосняки мохово-кустарничково-травяные и лишайниковые Moss—dwarf shrub—grass and lichen pine forests	0.475	0.445

Таблица 2. Продолжение

Региональные конгломерации формаций и групп формаций Regional conglomerations of formation groups and formations	Формации и группы формаций Formations and groups of formations	Картируемые типологические единицы растительного покрова* Mapped typological land cover units*	Индекс устойчивости Stability index	
			резистентной resistance	упруго-пластичной elastic-plastic
Восточно-европейские широколиственные леса East European broadleaf forests	2) Широколиственные леса и производные сообщества на их месте Broadleaf forests and derived communities in their place	16 (81 ²). Сосняки кустарничково-травяные, с евтрофными болотами Pine forests shrub–grass, with eutrophic bogs	0.300	0.547
		17 (85). Березняки и осинники, местами с широколиственными породами Birch and aspen forests, in places with broad–leaved species	0.395	0.536
		18 (86). Фрагментарные подтаежные лесные угодья Fragmented subtaiga forest lands	0.274	0.565
		19 (118 а). Дубовые и липово-дубовые леса северные, с примесью ели Northern oak and linden–oak forests with spruce	0.420	0.500
		20 (118 б). Дубовые и липово-дубовые леса южные, остепненные Southern steeped oak and linden–oak forests	0.245	0.609
		21 (118 в). Приволжские, дубовые и липово-дубовые осветленные леса Light oak and linden–oak forests of the Volga River Region	0.311	0.541
		22 (118 г). Приволжско-заволжские липово-дубовые осветленные леса Volga–Zavolzhsky linden–oak clarified forests	0.398	0.567
		24 (120 а). Липняки, с дубом и вязом, разнотравно-злаковые, мезофитные Mesophytic forb–grass linden forests with oak and elm	0.320	0.517
		25 (121). Осинники и березняки Aspen and birch forests	0.283	0.540

Таблица 2. Продолжение

Региональные конгломерации и групп формаций Regional conglomerations of formation groups and formations	Формации и группы формаций Formations and groups of formations	Картируемые типологические единицы растительного покрова* Mapped typological land cover units*	Индекс устойчивости Stability index	
			резистентной resistance	упруго-пластичной elastic-plastic
Пристенные и степные широколиственные и сосновые леса Stepped and steppe broad-leaf forests	д) Островные и байрачные леса в типичной (луговой) и южной лесостепи Outlier and ravine forests in typical (meadow) and southern forest-steppe	26 (87). Широколиственно-сосновые леса, со степными кустарниками Broadleaf-pine forests with steppe bushes	0.558	0.463
		27 (88, 89). Сосново-березовые остепненные леса, лесные угодья Pine-birch stepped forests and forest lands	0.540	0.295
		28 (119 б). Среднерусские дубняки, остепненные, разреженные Stepped sparse Central Russian oak forests	0.436	0.563
		30 (122). Островные и байрачные леса среди сельскохозяйственных полей Outlier and ravine forests surrounded by agricultural lands	0.310	0.371
е) Южнотаежные, подтаежные и неморальные лесоболотные комплексы Southern taiga, sub-taiga and nemoral forest-bog complexes		31 (203, 204, 205 б). Заболоченные хвойные леса Bog coniferous forests	0.371	0.51
		32 (219, 223 а). Лесные болота Forest bogs	0.323	0.544
		33 (107). Заболоченные неморальные леса Bog nemoral forests	0.248	0.656
жс) 34 (234, 236). Неморальные поймы Nemoral floodplains			0.340	0.559

Примечание. * В скобках указаны номера выделов по Карте растительности Европейской части СССР [16, 41].
Note. * In parentheses are the numbers of sections according to the Vegetation Map of the European Part of the USSR [16, 41].

устойчивости были использованы оцифрованные по Карте растительности Европейской части СССР [15] значения таксономических норм этих индексов для ареала каждой единицы растительного покрова. Средние значения индексов по территории Окского бассейна составляют: для $I_{рез}$ — 0.358, для $I_{упр}$ — 0.540.

Данные о высотах земной поверхности бассейна р. Оки взяты из проекта SRTM НАСА. Значения средних многолетних характеристик климата, полученные из базы данных WordClim [34] и усредненные за 50 лет (1950–2000 гг.), преобразованы в матрицы с шагом 600 м в проекцию Каврайского для Европейской части России. По матрице были рассчитаны морфометрические величины по методике, описанной в работе [31]. Для выявления связей индексов устойчивости с климатом и рельефом путем расчета уравнений множественной регрессии использовали программу “Аналитическая ГИС Эко” [24].

В настоящей работе использовалась линейная множественная регрессия вида:

$$X = a \times Y_1 + b \times Y_2 + c \times Y_3 + d, \quad (2)$$

где X есть индекс устойчивости; Y_1 , Y_2 и Y_3 — три линейно независимых фактора; a , b , c , d — коэффициенты регрессии, вычисляемые при сравнении измеренных значений X и рассчитанных значений Y . Методика решения уравнения (1) описана в работе [36]. Этот подход позволяет выделять ведущие предикторы из общего числа факторов. Нормирование факторов Y на диапазон от 0 до 1 в уравнении (3) позволяет оценивать вклад каждого из них в устойчивость лесных формаций по относительным значениям коэффициентов регрессии a , b , c [36].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Общее состояние лесного покрова. На основе обработки спутниковых данных по цифровой карте лесов [23] установлено, что только немногим более 43% территории бассейна Оки занято лесными массивами, причем не только сплошными, но и редкостойными (рис. 1а). Воднохозяйственные участки северо-западной и северной частей территории бассейна более всего покрыты лесами (от 50 до 82.7%). Наименьшие площади лесов имеют юго-западная, южная и юго-восточная части бассейна (от 2.4 до 40%). Между этими полосами располагаются участки с площадью лесов от 40 до 50%.

Сомкнутость крон древостоев в среднем по бассейну составляет 50.7% и колеблется от 38–45 до 56–63% (рис. 1б). Очевидно, значительная часть лесных массивов приближается к редколесному гемиксерофитному состоянию в понимании В.З. Гулисашвили [38]. Даже в последней чет-

верти XX в. по всему лесостепному правобережью Оки средняя относительная полнота насаждений составляла около 0.7 [5]. Общее изреживание древостоев и дефолиация крон стали результатом грибных болезней деревьев, поражения их энтомофитными и усыхания отдельных пород (в частности ели и дуба), а также следствием лесохозяйственных стрессов [6].

Значения сомкнутости крон древесного полога леса в целом не связаны с площадью самого лесного покрова на ВХУ. Наибольшая сомкнутость полога леса (от 56.1 до 63.6%) наблюдается в самой западной и юго-восточной частях бассейна. На западе это — левобережье верхнего течения Оки (ВХУ 3, ВХУ 6, ВХУ 7), покрытое сосновыми и широколиственно-сосновыми лесами и их производными, а также мелколиственными дериватами на месте ельников. На юго-востоке — это весь бассейн р. Цны (за исключением бассейна р. Мокши) и бассейны рр. Теша и Сережа.

Судя по геоботанической карте [17], уже более 30 лет назад в Окском бассейне еловые и елово-широколиственные леса занимали 2% площади; сосновые и широколиственно-сосновые — 31%; широколиственные — 6%; мелколиственные — 47%; пойменные — 11%; болотные — 3%. В целом по территории Европейской России за период 1961–2000 гг. произошел общий рост лесистости [7], однако в бореальном поясе площади мелколиственных лесов выросли в два раза больше, чем площади хвойных лесов [6].

Вызванная многовековой интенсивной лесной агрохозяйственной деятельностью смена коренных зональных лесных групп формаций Окского бассейна (темнохвойных, смешанных, широколиственных) вторичными мелколиственными формациями (березняками и осинниками) привела к существенной потере лесным покровом *экологических ресурсов* [1, 39], связанных с эффективностью использования солнечной энергии на производство живой фитомассы.

Для примера приведем результаты эксперимента, проведенного нами в различных фитоценозах Керженского заповедника, расположенного в южной полосе подтаежной зоны вблизи устья Оки. Были проведены замеры прихода суммарной солнечной радиации под пологом леса $Q_{лес}$ в сравнении с ее поступлением на соседней открытой поляне $Q_{пол}$. Относительная величина перехвата радиационной энергии кронами деревьев, а также подростом и подлеском рассчитывалась по формуле:

$$\Delta Q = 1 - Q_{лес}/Q_{пол}. \quad (3)$$

Измерения проводились в середине дня при ясной погоде. Параметр ΔQ характеризует энергетическую базу нетто продукции (NPP) древостоев и подлеска (при “шумовом” эффекте альбе-

Таблица 3. Доля суммарной радиации (ΔQ), поглощенной кронами древостоев в лесных сообществах различных сукцессионных стадий и разного возраста (Керженский заповедник)**Table 3.** The share of total radiation (ΔQ) absorbed by tree crowns in forest communities of different succession stages and different ages (Kerzhensky reserve)

Фитоценозы Phytocoenoses	Число пробных площадей Number of sample plots	Средние значения Averages	
		возраста основной древесной породы, лет age of the dominant tree species, years	ΔQ (в долях 1) (in shares 1)
1. Кустарники и поросль березы на гарях и вырубках Shrubs and shoots of birch on burnt areas and clearings	4	15	0.54
2. Березняк с подростом из ели Birch forest with spruce undergrowth	4	45	0.77
3. Березово-еловый и елово-березовый лес Birch–spruce and spruce–birch forest	6	69	0.85
4. Приспевающий еловый лес Ripe spruce forest	7	74	0.89
5. Широколиственный и смешанный лес из дуба, липы и сосны Broadleaf and mixed oak, linden and pine forest	5	93	0.85
6. Молодой сосновый лес Young pine forest	5	42	0.66
7. Сосновый лес с подростом из ели Pine forest with spruce undergrowth	7	87	0.75
8. Спелый и перестойный сосновый лес Ripe and overmature pine forest	6	83	0.71
9. Березово-сосновый лес Birch–pine forest	6	107	0.80
10. Елово-сосновый лес Spruce–pine forest	4	90	0.82

до, который принят в первом приближении одинаковым для всех лесных крон). Правоммерно полагать, что чем больше ΔQ , тем выше должна быть (при прочих равных условиях) производительность лесного сообщества и, соответственно, более высоким будет его эколого-ресурсный потенциал. Судя по значениям ΔQ (табл. 3), минимальным экологическим ресурсом должны отличаться вторичные ассоциации (в данном случае березняки чистые и с подрастающей елью во втором ярусе), а максимальной – коренные приспевающие ельники. К ним приближаются зрелые ассоциации елово-соснового леса, а также высокопойменных (экстразональных) елово-дубовых и дубово-липовых лесов. Какие-либо однозначные парциальные связи ΔQ с возрастом основной лесообразующей породы не прослеживаются.

Известно, что первичная биопродуктивность является основным экологическим ресурсом природных экосистем [27]. Коренные и близкие к

ним леса отличаются устойчивостью депо живой фитомассы и детрита, при их примерно равных соотношениях, что обеспечивает высокую эффективность работы почвенно-биотического ядра этих экосистем по стабилизации и регулировании окружающей среды [1, 39]. Результаты проведенного нами эксперимента подтверждают существенность утраты этих свойств лесным покровом Окского бассейна.

Устойчивость лесных формаций. Получены статистические связи параметров $I_{\text{упр}}$ и $I_{\text{рез}}$ с отдельными морфометрическими и климатическими характеристиками. Уравнения множественной регрессии представлены в табл. 4 в стандартизованном виде, т.е. все предикторы нормированы на диапазон от 0 до 1.

Ранговый коэффициент корреляции Спирмана r_s характеризует связь между найденными факторами (с регрессионными коэффициентами) и

Таблица 4. Уравнения связей индекса упруго-пластичной устойчивости лесов (X) с характеристиками рельефа и климатическими параметрами для основных лесных формаций Окского бассейна**Table 4.** Relationship equations for the elastic-plastic stability index of forests (X) with relief characteristics and climatic parameters for the main forest formations of the Oka River basin

Картируемые единицы растительности* Mapped typological land cover units*	Уравнения регрессии** Regression Equations**	Статистики*** Statistics***	
		r_S	P
(52). Ельники с сосной сложные, неморальнотравяные Multilayer nemoral grass spruce forests with pine	$X = 0.07F(35.180) + 0.05k_{\min} + 0.01r_{mn} + 0.29$	0.20	10^{-2}
(53). Широколиственно-еловые неморальнотравяные леса Broadleaf–spruce–nemoral grass forests	$X = -0.09GA - 0.08F(35.180) - 0.05k_v + 0.52$	0.36	10^{-4}
(78). Сосняки с березой кустарнич- ковые долгомошно-сфагновые Dwarf shrub– <i>Polytrichum</i> – <i>Sphagnum</i> pine forests with birch	$X = 0.12t_{\text{июля}} + 0.06r_{mn} - 0.01GA + 0.47$	0.49	10^{-6}
(76 ³). Сосняки с елью зеленомошно- сфагновые Green moss– <i>Sphagnum</i> pine forests with spruce	$X = -0.14GA + 0.10F(35.180) - 0.014t_{\text{июля}} + 0.47$	0.35	10^{-6}
(81). Сосняки кустарничково-травя- ные с дубом и липой Dwarf shrub–grass pine forests with oak and linden	$X = -0.19GA + 0.08F(35.180) + 0.001Z + 0.47$	0.24	10^{-6}
(84). Широколиственно-сосновые леса разнотравно-злаковые Forbs-grass broadleaf–pine forests	$X = 0.19t_{\text{июля}} - 0.15k_v + 0.13r_{mn} + 0.34$	0.38	10^{-6}
(81 ²). Сосняки кустарничково-травя- ные с болотами Dwarf shrub–grass pine forests with bogs	$X = -0.08r_{mn} + 0.04F(35.180) + 0.02Z + 0.42$	0.39	10^{-6}
(87). Широколиственно-сосновые леса со степными кустарниками Broadleaf–pine forests with steppe dwarf shrubs	$X = 0.38GA - 0.26F(35.180) - 0.17Z + 0.58$	0.65	10^{-6}
(118 а). Дубовые и липово-дубовые леса северные Northern oak and linden–oak forests with spruce	$X = -0.06F(35.180) - 0.05Z + 0.02r_{mn} + 0.53$	0.39	10^{-6}
(118 б). Дубовые и липово-дубовые леса южные Southern oak and linden–oak forests	$X = 0.11F(35.180) + 0.08H - 0.04GA + 0.46$	0.38	10^{-6}
(118 в). Приволжские липово-дубо- вые осветленные леса Light linden–oak forests of the Cis- Volga region	$X = 0.07t_{\text{июля}} - 0.05F(35.180) + 0.03k_{\min} + 0.47$	0.52	10^{-2}

Таблица 4. Окончание

Картируемые единицы растительности* Mapped typological land cover units*	Уравнения регрессии** Regression Equations**	Статистики*** Statistics***	
		r_S	P
(118 г). Приволжско-заволжские липово-дубовые осветленные леса Light linden–oak forests of the Cis- and Trans-Volga regions	$X = 0.14H - 0.08 GA - 0.05r_{mn} + 0.55$	0.40	10^{-6}

Примечание. * Номера типологических единиц растительности даны по Грибова др. [41]. ** 0.13 $F(35.180)$ – освещенность склонов, числа в скобках означают: первое – угол склонения Солнца от горизонта, второе – угол азимута; $t_{июль}$ – средняя температура июля; r_{mn} – сумма осадков теплого периода. k_{max} – максимальная кривизна (характеризует гребневые формы); GA – крутизна склонов; k_v – вертикальная кривизна (описывает профиль склона); k_h – горизонтальная кривизна; Z – абс. высота; H – средняя кривизна (определяет вогнутость или выпуклость формы в целом); k_{min} – минимальная кривизна (связана с килевыми формами рельефа). *** r_S – ранговый коэффициент корреляции Спирмана; P – уровень значимости.
Note. * Numbers of typological units of vegetation are given according to Gribova et al. [41]. ** 0.13 $F(35.180)$ – illumination of the slopes, the numbers in parentheses mean: the first is the solar declination angle, the second is the azimuth angle; t_{july} – July average temperature; r_{mn} – sum of precipitation during the warm period. k_{max} – maximum curvature (characterizes ridge forms); GA – slope steepness; k_v – vertical curvature (describes the slope profile); k_h – horizontal curvature; Z – elevation; H – average curvature (determines the concavity or convexity of the shape as a whole); k_{min} – minimum curvature (associated with keel landforms). *** r_S – Spearman's rank correlation coefficient; P – level of significance.

зависимой переменной X . Значение этого коэффициента может быть оценено уровнем значимости P (вероятностью ошибки). Обращают на себя внимание в целом низкие ранговые коэффициенты корреляции. Как известно [36], нарушения основных принципов статистического анализа неизбежны при описании сложных многокомпонентных биологических систем. В частности, не соблюдается принцип линейной независимости предикторов, а коэффициенты корреляции и детерминации не могут быть высокими. Диссимметризация и фрагментация экологических ниш с преимущественно пуассоновским распределением биогеоценотических единиц [15] указывают на сложный процесс их климатогенных трансформаций, дифференцированных в пространстве.

Для еловых и широколиственно-еловых лесов, находящихся в основном на северо-западе бассейна в условиях хорошей влагообеспеченности, существенными для их сукцессионного потенциала, определяемого параметром $I_{упр}$, являются средняя июльская температура ($t_{июль}$) и освещенность склонов – $F(35.180)$. При этом в южной тайге данные факторы играют положительную роль. В подзоне смешанных лесов, где уже не отмечается недостатка тепла и появляется дефицит атмосферного увлажнения, при повышении летней температуры на хорошо освещенных склонах упруго-пластичная устойчивость лесов уменьшается.

Параметр $I_{упр}$ сосновых и широколиственно-сосновых лесов в большей степени зависит от осадков теплого периода r_{mn} . Положительная связь с ними нарушается только в сосняках с евтрофными болотами. В широколиственных лесах

индекс упруго-пластичной устойчивости также обнаруживает положительную связь с годовыми осадками и летней температурой, увеличиваясь при этом на пологих склонах. Для дубовых лесов $I_{упр}$ возрастает с повышением температуры, но на более затененных склонах. В уравнениях связи с геоморфологическими факторами сильнее проявляется минимальная кривизна k_{min} , определяющая килевые формы рельефа.

На карте ВХУ Окского бассейна в целом прослеживаются три полосы преобладающих значений таксономических норм $I_{рез}$ и $I_{упр}$ (рис. 2). Полосы направлены субширотно – с ЗЮЗ на ВСВ. Первая из них протягивается почти по всему левобережью Оки, прерываясь в самых ее низовьях. Она охватывает склоны Смоленско-Московской гряды, а также северный форпост Средне-Русской возвышенности. Эта полоса минимальных значений $I_{рез}$ (0.25–0.38) и максимальных – $I_{упр}$ (0.55–0.65). Вторую, такую же сплошную, полосу образуют северная часть Средне-Русской возвышенности (р-ны Орла и Тулы), затем Мещерская низина и следующая за ней Нижнеокско-Тешинская низменная равнина. Здесь, наоборот, имеют место наибольшие индексы резистентной устойчивости (0.38–0.45) и наименьшие – устойчивости упругой (0.44–0.53). Как видим, даже в этой полосе лесные формации обладают достаточно развитой способностью к восстановительным сукцессиям, которые по своей эффективности перекрывают их чувствительность к первичным сигналам внешних воздействий ($I_{упр} > I_{рез}$).

Третья субширотная полоса в бассейне представлена фрагментарно – в верховьях Оки, в Рязанской Мещере и бассейне нижнего течения

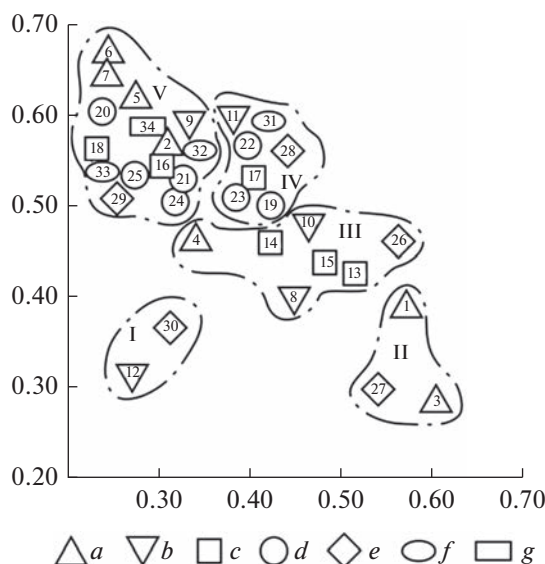


Рис. 3. Распределение формаций и групп формаций растительности Окского бассейна (a–g, табл. 2) и картируемых типологических единиц растительности (1–34, табл. 2) в поле таксономических норм индексов их резистентной и упруго-пластичной устойчивости. I–V – корреляционные плеяды (объяснения в тексте).

По горизонтали – индекс резистентной устойчивости; по вертикали – индекс упруго-пластичной устойчивости.

Fig. 3. Distribution of plant formations and groups of plant formations of the Oka River basin (a–g; table 2) and the mapped typological units of vegetation (1–34, table 2) in the field of taxonomic norms of their resistance and elastic-plastic stability indices. I–V – correlation pleiad (explanation given in the text).

X-axis – index of the resistance stability; y-axis – index of the elastic-plastic stability.

р. Мокши. Здесь снова прослеживаются пониженная резистентная устойчивость ($I_{рез} = 0.38–0.45$) и повышенная – устойчивость упруго-пластичная ($I_{упр}$ до $0.53–0.61$).

Таким образом, сколько-нибудь отчетливой привязки параметров устойчивости лесных формаций в Окском бассейне к основным элементам равнинного рельефа не наблюдается. Низкие значения $I_{упр}$ свойственны как северной части Средне-Русской возвышенности, так и Окско-Донской низменности. То же самое можно сказать и относительно $I_{рез}$.

Получена диаграмма размещения ГРФ Окского бассейна в поле таксономических норм $I_{рез}$ и $I_{упр}$ (рис. 3). Подавляющее большинство лесных формаций характеризуются высокой чувствительностью к первоначальным сигналам внешних возмущений, но в то же время – достаточно развитыми механизмами экогенетических сукцессий, олицетворяющих их упруго-пластичную

устойчивость. Это означает смену первоначальной адаптивной стратегии лесов в меняющейся окружающей среде на стратегию последующего устойчивого развития, стремящегося привести их в первоначальное состояние после “снятия” или даже ослабления возмущающих сигналов (например, стабилизации очередной ветви вековых изменений климата, прекращения вырубок леса, уменьшения загрязнения природных сред, снижения рекреационной и/или пастбищной нагрузки). Таким образом, даже наименее облесенные территория Окского бассейна, находящиеся в подзоне широколиственных лесов, могут “... быть примером деградированных экосистем, которые можно восстановить до близкого к естественному состоянию” [40, с. 69].

Здесь также раскрываются два противоположных механизма проявления известных буферных свойств лесной подстилки, о которых писал еще Г.Ф. Морозов [13]. Начальная резистентная устойчивость вызывает рост ML , что означает перевод лесной экосистемы в более застойную категорию [28]. Когда же включаются процессы упруго-пластичной устойчивости, масса подстилки уменьшается – лесная экосистема переходит в категорию более активную.

На диаграмме отчетливо выделяются пять корреляционных плеяд с различными сочетаниями параметров $I_{рез}$ и $I_{упр}$. Первую, аномальную, плеяду образуют две ГРФ: южнотаежные березняки и лесостепные островные леса среди сельскохозяйственных полей. Это в целом наименее устойчивые лесные сообщества ($I_{упр} \rightarrow \min$; $I_{рез} \rightarrow \min$). Во вторую плеяду входят южнотаежные чистые и сложные ельники, а также сосново-березовые остепненные леса. Они наиболее слабо реагируют на сигналы внешних воздействий ($I_{рез} = 0.54–0.61$), и это существенно отличает их от формаций первой плеяды, однако в дальнейшем могут сравнительно долго оставаться в нарушенном состоянии ($I_{упр} = 0.28–0.39$).

Третью корреляционную плеяду образуют, главным образом, сосновые и широколиственно-сосновые леса в широком зональном спектре: от южной тайги до средней (луговой) степи. Их $I_{рез}$ варьирует значительно: от умеренных до повышенных значений ($0.42–0.58$) при средних значениях $I_{упр}$ ($0.40–0.48$). Сообщества зоны широколиственных лесов: дубовые и дубово-липовые, а также их мелколиственные дериваты и остепненные дубняки входят в четвертую плеяду, с умеренной чувствительностью к внешним воздействиям ($I_{рез} = 0.31–0.44$) и с достаточно высоким потенциалом пластично-упругой устойчивости ($0.50–0.57$). Сюда же примыкают южнотаежные переувлажненные сосняки и заболоченные леса.

Наконец, в пятую, наиболее многочисленную, плеяду включены ГРФ, представленные во всех

природных зона и подзонах Окского бассейна. Эти лесные сообщества реагируют на внешние сигналы с высокой скоростью ($I_{\text{рез}} = 0.24\text{--}0.39$), однако в дальнейшем они способны столь же быстро проходить цепь восстановительных сукцессий до исходного состояния. В целом это плеяда наиболее динамичных лесных растительных формаций. Среди них максимальным $I_{\text{упр}}$ ($0.62\text{--}0.67$) отличаются южнотаежные и подтаежные неморально-травяные и болотно-крупнотравные березняки, а также фрагментарные лесные угодья. С меньшими значениями $I_{\text{упр}}$ ($0.52\text{--}0.61$) оказываются южные осветленные липо-дубняки и подтаежные кустарничково-травяные сосняки, а также их мелколиственные дериваты. Низкими в целом значениями резистентной устойчивости и высокими — устойчивости упруго-пластичной характеризуются лесные болота и неморальнолесные поймы. Они так же входят в пятую корреляционную плеяду.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Подавляющее большинство лесных формаций Окского бассейна характеризуется высокой чувствительностью к сигналам внешних возмущений, но в то же время — достаточно развитыми механизмами экогенетических сукцессий, олицетворяющих их упруго-пластичную устойчивость. Это свидетельствует о высоком лесовосстановительном потенциале деградированных земель региона.

2. Полученные эмпирические материалы по состоянию и устойчивости лесов Окского бассейна указывают на существенные изменения параметров устойчивости лесного покрова, произошедшие под влиянием векового нерационального лесопользования. Установлено, что замещение коренных смешанных и широколиственных лесов вторичными мелколиственными сообществами ведет к общему усилению динамичности вторичных сообществ — к повышению их чувствительности к возмущающим сигналам и к ускорению восста-

новительных сукцессионных смен. Коренные широколиственные леса (мезофильные вязо-липняки) оказываются в обоих случаях более инертными по сравнению с производными осиново-березовыми сообществами и, будучи нарушенными, они восстанавливаются сравнительно медленно. В то же время ксерофильным дубнякам свойственны не только первоначальная инертность, но и последующая высокая динамичность, способствующая их относительно быстрому самовосстановлению. Этим дубовые леса существенно отличаются от вязово-липовых и в целом являются наиболее устойчивыми коренными сообществами лесостепной зоны.

3. Аналитическое и картографическое моделирование устойчивости лесных экосистем позволило вскрыть некоторые особенности климатогенных изменений биологического круговорота. В начальный период воздействия неблагоприятного гидротермического сигнала лесное сообщество, стремясь к выживанию, реагирует снижением интенсивности годового оборота надземной фитомассы. Последующий восстановительный потенциал реализуется с помощью активизации процессов деструкции мертвой органики в лесной подстилке, а затем — путем увеличения годичной продукции зеленой массы, т.е. общим ускорением биологического круговорота.

4. Изложенные материалы по состоянию лесного покрова Окского бассейна имеют определенное практическое значение для экономических районов лесной и лесостепной зон Европейской России. Оценки состояния лесных экосистем, а также устойчивости их к грядущим изменениям климата могут быть использованы для разработки экологических основ сохранения, воспроизводства и рационального использования лесных ресурсов в меняющемся климате. Это особенно важно для районов с критическими условиями существования лесной растительности, к которым относится зона контакта леса и степи в Окском бассейне.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лосев К.С. 2001. Экологические проблемы и перспективы устойчивого развития России в XXI веке. М. 400 с.
2. Кочуров Б.И. 1992. Экологический риск и возникновение острых экологических ситуаций. — Изв. РАН. Серия геогр. 2: 112–122.
3. Глазовский Н.Ф. 2009. Избранные труды. Т. 2. Устойчивое развитие биосферы. М. 386 с.
4. Залиханов М.Ч., Лосев К.С., Шелехов А.М. 2006. Естественные экосистемы — важнейший ресурс человечества. — Вестник Российской Академии Наук. 76(7): 612–634. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=9312975>
5. Природные ресурсы Русской равнины в прошлом, настоящем и будущем. 1976. М. 379 с.
6. Восточноевропейские леса. История в голоцене и современность. Книга 1. 2004. М. 479 с. http://gjee.ru/wp-content/uploads/2016/03/Книга_1.pdf
7. Швиденко А.З., Щепашенко Д.Г., Кракснер Ф., Онучин А.А. 2017. Переход к устойчивому управлению лесами России: теоретико-методические предпосылки. — Сибирский лесной журнал. 6: 3–25. <https://doi.org/10.15372/SJFS20170601>

8. Воронков Н.А. 1976. Элементы водного баланса в зависимости от почвенно-грунтовых условий и породного состава насаждений. — Вопросы географии. Сб. 102. Ландшафт и воды. С. 122–134.
9. Коронкевич Н.И. 1990. Водный баланс Русской равнины и его антропогенные изменения. М. 205 с.
10. Антропогенные воздействия на водные ресурсы России и сопредельных государств в конце XX столетия. 2003. М. 367 с.
11. Антипов А.Н., Винкельбрандт А., Дроздов А.В. 2002. Ландшафтное планирование: принципы, методы, европейский и российский опыт. Иркутск. 141 с.
12. Коломыц Э.Г., Розенберг Г.С., Глебова О.В., Сурова Н.А., Сидоренко М.В., Юнина В.П. 2000. Природный комплекс большого города. М. 286 с.
https://www.rfbr.ru/rffi/ru/books/o_63528
13. Морозов Г.Ф. 1949. Учение о лесе. Изд. 7-е. М. 368 с.
14. Риклефс Р.Э. 1979. Основы общей экологии. Пер. с англ. М. 424 с.
15. Коломыц Э.Г. 2018. Экспериментальная географическая экология. Записки географа-натуралиста. М. 716 с.
https://www.rfbr.ru/rffi/ru/books/o_2088651
16. Исаченко Т.И., Лавренко Е.М. 1974. Карта растительности Европейской части СССР. М. 6 л.
17. Котова Т.В. Растительность Европейской части СССР и Кавказа. Масштаб: 1 : 2000000. 1987. М. 4 л.
18. Разнообразие и динамика лесных экосистем России. Книга 1. Отв. ред. А.С. Исаев. 2012. М. 461 с.
19. Барталев С.А., Егоров В.А., Жарко В.О. 2016. Спутниковое картографирование растительного покрова России. М. 208 с.
<http://www.iki.rssi.ru/books/2016bartalev.pdf>
20. Барталев С.А., Еришов Д.В., Исаев А.С., Лупян Е.А., Уваров И.А. 2010. Карта растительного покрова России. Масштаб: 1 : 5000000. М. 1 л.
http://smiswww.iki.rssi.ru/files/maps/vegetation_cover_of_russia_2010.jpg
21. Сукачев В.Н. 1972. Избранные труды. Т. 1. Основы лесной типологии и биогеоценологии. Л. 418 с.
22. Сочава В.Б. 1979. Растительный покров на тематических картах. Новосибирск. 189 с.
23. Bartalev S.A., Belward A.S., Erchov B.V., Isaev A.S. 2003. A new SPOT4-VEGETATION derived land cover map of Northern Eurasia. — Int. J. Remote Sens. 24(9): 1977–1982.
<https://doi.org/10.1080/0143116031000066297>
24. Wood J. 2009. Overview of software packages used in geomorphometry. — In: Geomorphometry: Concepts, Software, Applications. Developments in Soil Science. 33: 257–267.
[https://doi.org/10.1016/S0166-2481\(08\)00010-X](https://doi.org/10.1016/S0166-2481(08)00010-X)
25. Рожков А.А., Козак В.Т. 1989. Устойчивость лесов. М. 239 с.
26. Коломыц Э.Г., Шарая Л.С. 2014. Устойчивость лесных экосистем, методы ее исчисления и картографирования. — Известия СНИИ РАН. 16(1): 93–107.
http://www.ssc.smr.ru/media/journals/izvestia/2014/2014_1_93_107.pdf
27. Одум Ю. 1975. Основы экологии. Пер. с англ. М. 740 с.
28. Керженцев А.С. 2006. Функциональная экология. М. 259 с.
29. Базилевич Н.И., Родин Л.Е. 1971. Географические закономерности продуктивности и круговорота химических элементов в основных типах растительности Земли. — В сб.: Общие теоретические проблемы биологической продуктивности. Л. С. 24–33.
30. Крутько В.Н., Пегов С.А., Хомяков Д.М., Хомяков П.М. 1982. Формализация оценки качества компонентов окружающей среды. М. 36 с.
31. Розенберг Г.С. 1984. Модели в фитоценологии. М. 265 с.
32. Shary P.A., Sharaya L.S., Mitusov A.V. 2002. Fundamental quantitative methods of land surface analysis. — Geoderma. 107(1–2): 1–32.
[https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(01\)00136-7](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(01)00136-7)
33. Полюнов Б.Б. 1956. Избранные труды. М. 751 с.
34. Глазовская М.А. 1964. Геохимические основы типологии и методики исследований природных ландшафтов. М. 230 с.
35. Hijmans R.J., Cameron S.E., Parra J.L., Jones P.G., Jarvis A. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. — Int. J. Climatol. 25(15): 1965–1978.
<https://doi.org/10.1002/joc.1276>
36. Montgomery D.C., Peck E.A. 1982. Introduction to linear regression analysis. New York. 504 p.
37. Tomer M.D., Anderson J.L. 1995. Variation of soil water storage across a sand plain hillslope. — Soil Sci. Soc. Am. J. 59(4): 1091–1100.
<https://doi.org/10.2136/sssaj1995.03615995005900040021x>
38. Гулисашвили В.З. 1980. Саванны — редколесья. Тбилиси. 99 с.
39. Уткин А.И. 1995. Углеродный цикл и лесоводство. — Лесоведение. (5): С. 3–20.
40. Тишков А.А. 2021. Концепция биосферных резерватов Программы МАБ и задачи сохранения биоразнообразия: достижения и проблемы спустя 50 лет. — Вопросы географии. 152: 62–100.
<https://doi.org/10.24057/probl.geogr.152>
41. Грибова С.А., Исаченко Т.И., Лавренко Е.М. 1980. Растительность европейской части СССР. Л. 429 с.

State and Stability of Forest Ecosystems of the Region with Extreme Anthropogenic Transformation (Evidence from the Oka River Basin)

E. G. Kolomyts^{a, *}, L. S. Sharaya^b, S. M. Sevostianov^a

^a*Institute of Basic Biological Problems, Pushchino Science Center, Russian Academy of Sciences, Pushchino, Moscow region, Russia*

^b*D.N. Pryanishnikov All-Russian Research Institute of Agricultural Chemistry, Moscow, Russia*

*e-mail: egk2000@mail.ru

Using satellite sounding data on the forest cover of Russia and three GIS programs, mapping of forest cover and average crown density in the Oka river basin was carried out. Considering hydro-ecological role of forests, these parameters were differentiated according to water management areas. The progressive decline in the wooded areas, thinning and defoliation of forest stands confirm the validity of classifying the Oka river basin as a territory with a catastrophic environmental situation. This is especially true for the forest-steppe zone, where the forest cover ranges from 2.4 to 40%. The average canopy density of the forests in the basin is 50.7%, which makes a significant part of them approaching the state of sparse hemi-xerophytic forests. Using the methods developed by the authors, the indices of the resistance and elastic-plastic stability of forests were calculated and the corresponding maps for the Oka river basin were constructed. It was found that the replacement of primary mixed and broadleaf forests with secondary small-leaved forests leads to a general increase in the dynamism of forest communities: to an increase in their sensitivity to disturbing signals and to an acceleration of ecogenetic successional changes that tend to transfer them to their previous (or new) stable state. The ordination of forest formations of the Oka river basin was carried out according to the gradients of the indices of resistance and elastic-plastic stability. The overwhelming majority of forest formations are characterized by high sensitivity to the initial signals of external disturbances, but at the same time, by sufficiently developed mechanisms of ecogenetic successions, which represent their elastic-plastic stability. This indicates the high reforestation potential of the degraded lands of the Oka basin, which makes it possible to include its forest areas in the global system of biosphere reserves. Two opposite mechanisms exhibiting the known buffer properties of the forest litter have been revealed. In response to the unfavourable impacts, the forest community switches from some leading processes of its functioning to others – from the level of autotrophic biogenesis to the level of detrital metabolism.

Keywords: forest ecosystems, satellite sensing, mapping, forest cover, crown closure, resistance and plastic-elastic stability of forests

REFERENCES

1. Losev K.S. 2001. Ecological issues and sustainable development perspectives of Russia at the XXI century. Moscow. 400 p. (In Russian)
2. Kochurov B.I. 1992. [Ecological risk and the occurrence of acute environmental situations]. – *Izvestiya RAN. Seriya Geograficheskaya*. 2: 112–122 (In Russian)
3. Glazovsky N.F. 2009. [Selected Works. V. 2. Sustainable development of the biosphere]. M. 386 p.
4. Zalikhanov M.Ch., Losev K.S., Shelekhov A.M. 2006. Natural Ecosystems: the humanity's crucial resource. – *Bulletin of the Russian Academy of Sciences*. 76(7): 612–634. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=9312975> (In Russian)
5. [Natural resources of the Russian Plain in the past, present and future]. 1976. Moscow. 379 p. (In Russian)
6. *East-European forests: History in Holocene and present state*. Book 1. M. 479 p. http://rjee.ru/wp-content/uploads/2016/03/Kniga_1.pdf
7. Shvidenko A.Z., Schepashchenko D.G., Kraksner F., Onuchin A.A. 2017. Transition to sustainable forest management in Russia: theoretical and methodological backgrounds. – *Siberian Forest J*. 6: 3–25. <https://doi.org/10.15372/SJFS20170601> (In Russian)
8. Voronkov N.A. 1976. [Elements of water balance depending on soil conditions and species composition of plantations]. – *Voprosy Geografii*. 102: 122–134. (In Russian)
9. Koronkevich N.I. 1990. [Water balance of the Russian valley and its transformation under the influence of human intervention]. Moscow. 205 p. (In Russian)
10. *Anthropogenic impact on the water resources of Russia and adjacent states at the end of XXth century*. 2003. Moscow. 367 p.
11. Antipov A.N., Winkelbrandt A., Drozdov A.V. 2002. Landscape planning: main principles, methods, European and Russian experience]. Irkutsk. 141 p. (In Russian)
12. Kolomyts E.G., Rozenberg G.S., Glebova O.V., Surova N.A., Sidorenko M.V., Yunina V.P. 2000. [Natural complex of the big city]. Moscow. 286 p. https://www.rfbr.ru/rffi/ru/books/o_63528 (In Russian)

13. *Morozov G.F.* 1949. [Theory of the forest]. 7th ed. Moscow. 368 p. (In Russian)
14. *Ricklefs R.E.* 1979. Fundamentals of general ecology. Transl. from English. Moscow. 424 p. (In Russian)
15. *Kolomyts E.G.* 2018. Experimental geographical ecology. The records of geographer-naturalist. Moscow. 716 p. https://www.rfbr.ru/rffi/ru/books/o_2088651 (In Russian)
16. [Vegetation map of the European part of the USSR. Scale 1 : 2 500 000.] 1974. Moscow. 6 sheets. (In Russian)
17. *Kotova T.V.* Vegetation of the European part of the USSR and the Caucasus. Scale 1 : 2 000 000. 1987. Moscow. 4 sheets (In Russian).
18. [Diversity and dynamics of forest ecosystems in Russia]. 2012. Book 1. Moscow. 461 p. (In Russian).
19. *Bartalev S.A., Yegorov V.A., Zharko V.O.* 2016. Land cover mapping over Russia using Earth observation data. Moscow. 208 p. <http://www.iki.rssi.ru/books/2016bartalev.pdf>
20. *Bartalev S.A., Ershov D.V., Isaev A.S., Lupyay E.A., Uvarov I.A.* 2010. Vegetation cover of Russia. Map. Scale 1 : 5 000 000. Moscow. 1 p. http://smiswww.iki.rssi.ru/files/maps/vegetation_cover_of_russia_2010.jpg (In Russian)
21. *Sukachev V.N.* 1972. [Selected Works. V. 1. Fundamentals of forest typology and biogeocoenology]. Leningrad. 418 p. (in Russian)
22. *Sochava V.B.* 1979. [Vegetation cover on thematic maps]. Novosibirsk. 189 p. (In Russian)
23. *Bartalev S.A., Belward A.S., Erchov B.V., Isaev A.S.* 2003. A new SPOT4-VEGETATION derived land cover map of Northern Eurasia. — *Int. J. Remote Sens.* 24(9): 1977–1982. <https://doi.org/10.1080/0143116031000066297>
24. *Wood J.* 2009. Overview of software packages used in geomorphometry. — In: *Geomorphometry: Concepts, Software, Applications. Developments in Soil Science.* 33: 257–267. [https://doi.org/10.1016/S0166-2481\(08\)00010-X](https://doi.org/10.1016/S0166-2481(08)00010-X)
25. *Rozhkov A.A., Kozak V.T.* 1989. [Forest sustainability]. Moscow. 239 p. (In Russian)
26. *Kolomyts E.G., Sharaya L.S.* 2014. Sustainability of forest ecosystems, methods of its calculation and mapping. — *Izvestiya RAS SamSC.* 16(1): 93–107. http://www.ssc.smr.ru/media/journals/izvestia/2014/2014_1_93_107.pdf (In Russian)
27. *Odum Yu.* 1975. Fundamentals of ecology. Transl. from English. Moscow. 740 p. (In Russian)
28. *Kerzhentsev A.S.* 2006. [Functional ecology]. Moscow. 259 p. (In Russian)
29. *Bazilevich N.I., Rodin L.E.* 1971. [Geographical patterns of productivity and circulation of chemical elements in the main vegetation types of Earth]. — In: [General theoretical problems of biological productivity]. Leningrad. P. 24–33 (in Russian)
30. *Krutko V.N., Pegov S.A., Khomyakov D.M., Khomyakov P.M.* 1982. [Formalization of the assessment of the environmental components quality]. Moscow. Preprint. 36 p. (In Russian)
31. *Rosenberg G.S.* 1984. Models in Phytocenology. Moscow. 265 p. (In Russian)
32. *Shary P.A., Sharaya L.S., Mitusov A.V.* 2002. Fundamental quantitative methods of land surface analysis. — *Geoderma.* 107(1–2): 1–32. [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(01\)00136-7](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(01)00136-7)
33. *Polynov B.B.* 1956. [Selected Works]. Moscow. 751 p. (In Russian)
34. *Glazovskaya M.A.* 1964. [Geochemical principles of typology and methods of studies of natural landscapes]. Moscow. 230 p. (In Russian)
35. *Hijmans R.J., Cameron S.E., Parra J.L., Jones P.G., Jarvis A.* 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. — *Int. J. Climatol.* 25(15): 1965–1978. <https://doi.org/10.1002/joc.1276>
36. *Montgomery D.C., Peck E.A.* 1982. Introduction to linear regression analysis. New York. 504 p.
37. *Tomer M.D., Anderson J.L.* 1995. Variation of soil water storage across a sand plain hillslope. — *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59(4): 1091–1100. <https://doi.org/10.2136/sssaj1995.03615995005900040021x>
38. *Gulisashvili V.Z.* 1980. [Savannas – woodlands]. Tbilisi. 99 p. (In Russian)
39. *Utkin A.I.* 1995. [Carbon cycle and forestry]. — *Russ. J. For. Sci.* 5: 3–20 (In Russian)
40. *Tishkov A.A.* 2021. The concept of biosphere reserve of the MAB Programme and the tasks of biodiversity conservation: achievements and challenges 50 years later. — *Voprosy Geografii.* 152: 62–100. <https://doi.org/10.24057/probl.geogr.152.3> (In Russian)
41. *Gribova S.A., Isachenko T.I., Lavrenko E.M.* 1980. [Vegetation of the European part of the USSR]. L. 429 p. (In Russian)

КОМПОНЕНТНЫЙ СОСТАВ РЕСУРСНЫХ ВИДОВ

ФИТОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И АНТИМИКРОБНЫЕ СВОЙСТВА ЭКСТРАКТОВ *NONEA ROSSICA* (BORAGINACEAE)

© 2023 г. В. В. Величко¹, *, М. Е. Карташова¹, С. Д. Кучерова¹, Д. С. Круглов¹,
Л. Г. Бурова¹, А. Н. Евстропов¹

¹ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный медицинский университет», г. Новосибирск, Россия

*e-mail: velichkvik@rambler.ru

Поступила в редакцию 24.03.2023 г.

После доработки 19.04.2023 г.

Принята к публикации 25.05.2023 г.

Изучены фитохимические характеристики и антимикробные свойства экстрактов широко распространенного в России вида — нонея русская *Nonea rossica* Steven (Boraginaceae). В качестве объекта исследования использовали надземную часть (траву), заготовленную на остепненном лугу на территории Новосибирской обл. Качественный состав биологически активных соединений (БАС) *N. rossica* был определен методом тонкослойной хроматографии. Количественное определение проводили методами спектрофотометрии (флавоноидов — в пересчете на рутин; оксикоричных кислот — в пересчете на кофейную кислоту, кумариноподобных соединений — в пересчете на кумарин). Антимикробную активность определяли методом серийных разведений. В качестве тест-культур использовали штаммы грамположительных бактерий (*Staphylococcus aureus* ATCC 6538 FDA 209P и *Bacillus cereus* ATCC 10702), а также грибов *Candida albicans* NCTC 885-653. Было установлено присутствие БАС фенольной природы (оксикоричных кислот, флавоноидов, кумаринов) и определено их количественное содержание. Показано, что при использовании в качестве экстрагента 40–70%-ного этилового спирта извлекается максимальное количество БАС фенольной природы. Изучена микробиологическая активность водно-спиртовых извлечений (экстрактов) из надземной части *N. rossica*; установлены противомикробная (в отношении *Staphylococcus aureus* и *Bacillus cereus*) и противогрибковая (в отношении *Candida albicans*) активности этих экстрактов. Активность была зафиксирована в экстрактах *N. rossica*, полученных при использовании 40–70%-ного этилового спирта в качестве экстрагента. В составе экстрактов, полученных с использованием 40–70%-ного этанола, было определено содержание кофейной кислоты и кумарина, синергетическое взаимодействие которых обуславливает установленное бактерицидное и фунгистатическое свойства этих экстрактов.

Ключевые слова: *Nonea rossica*, Boraginaceae, кумарин, кофейная кислота, бактерициды, фунгистатики, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus*, *Candida albicans*

DOI: 10.31857/S0033994623030068, **EDN:** SBGWRQ

Частота возникновения серьезных осложнений антибиотикотерапии — развитие аллергических реакций, нарушение колонизационной резистентности кишечника, формирование антибиотикорезистентных штаммов бактерий и грибов определяет важность поиска альтернативных противомикробных и противогрибковых средств. Лекарственные растительные препараты выглядят особенно перспективно в этом отношении, поскольку они традиционно используются в народной медицине.

Высокопатогенными микроорганизмами, возглавляющими список бактерий, заражению которыми наиболее часто подвержены люди, являются *Staphylococcus aureus* и *Candida albicans*. *Staphylococcus aureus* способен вызывать заболевания кожи, поражения дыхательной системы, кишечника и почек, а также генерализованные состоя-

ния в виде сепсиса и токсического шока. Зачастую стафилококковые инфекции имеют вторичное происхождение, наслаиваясь на основное заболевание, и давая гнойные осложнения, с ними крайне сложно бороться, так как многие штаммы обладают устойчивостью к традиционным и широко применяемым антибиотическим препаратам [1]. *Candida albicans* — возбудитель оппортунистических инфекций человека, для лечения которых используется широкий спектр антимикотических препаратов (нистатин, амфотерицин В, производные азолов), но часто они имеют низкую эффективность по отношению к грибам, т.к. штаммы сформировали со временем устойчивость к данным препаратам.

Одной из фундаментальных задач современной медицины является поиск новых препаратов

с антибактериальным и противогрибковым действием. Средства растительного происхождения имеют большие перспективы в этой области и уже доказали свою эффективность [2].

По данным народной медицины, виды рода *Nonea* Medic. обладают противовоспалительными и противомикробными свойствами и проявляют противогрибковую и антиоксидантную активность [3]; их используют при лечении инфицированных ран [4, 5]. Суммарные извлечения из *Nonea micrantha* Boiss. et Reut. проявляют ингибирующее действие на ацетилхолинэстеразу и бутирилхолинэстеразу, что делает растения рода *Nonea* перспективными для фитотерапии неврологических расстройств [6].

Род *Nonea* включает более 30-ти видов растений. В России широко распространены пять видов: *N. lutea* DC., *N. flavescens* (Fisch.) C. A. Mey., *N. rosea* Link., *N. caspica* G. Don и *N. rossica* Steven, из которых только последний вид имеет максимально большой ареал и достаточную ресурсную базу на территории нашей страны.

Компонентный состав *Nonea rossica* малоизучен, поэтому прогнозировать фармакологическую активность ее фитопрепаратов затруднительно. Ранее нами было установлено, что *N. rossica* содержит дегидропирролизидиновые алкалоиды, эфиры кофейной кислоты, розмариновую кислоту и ее производные, а также *O*-гликозиды кверцетина и кемпферола и новое соединение – нонеазид, представляющее собой производное кверцетина, ацилированное фрагментом кофейной кислоты [7]. Однако этих данных явно недостаточно для внедрения в медицинскую практику растения в качестве источника лекарственного растительного сырья, но с учетом полученных нами данных, опыта применения в народной медицине и филогенетического родства с другими видами рода изучение *N. rossica* представляет научный интерес. Таким образом, нонея русская представляет существенный интерес для скрининга биологических свойств, на основе которых можно создавать эффективные лекарственные средства.

Цель работы – фитохимическое и микробиологическое исследование суммарных спиртовых извлечений из надземной части (травы) *Nonea rossica*.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Наземные части *Nonea rossica* собирали в окрестностях с. Воробьево Колыванского р-на Новосибирской обл. (55°31' с.ш., 82°57' в.д.) на остепненном лугу в период цветения (июль 2022 г.). Собранное сырье доводили до воздушно-сухого состояния и измельчали.

Из образцов сырья получали экстракты с использованием этилового спирта различной концентрации: 96, 70, 40 и 20%. Для получения экстрак-

тов точные навески измельченного сырья помещали в колбу и заливали экстрагентом в соотношении 1 : 10. Колбы с присоединенными обратными холодильниками выдерживали на водяной бане при температуре 55 °С 60 мин и охлаждали при непрерывном встряхивании в течение 60 мин. После охлаждения экстракты центрифугировали со скоростью 8000 об./мин в течение 15 мин для удаления мелкодисперсных примесей. Надосадочную жидкость сливали и получали готовые экстракты.

Хроматографический анализ проводили методом тонкослойной хроматографии (ТСХ). В качестве неподвижной фазы использовали пластинки “Sorbfil” размером 10 × 15 см; в качестве подвижной фазы при определении оксикоричных кислот – систему растворителей – этилацетат : 96%-ный этиловый спирт : диметилсульфоксид в соотношении 46 : 3 : 1; при определении флавоноидов – этилацетат : ледяная уксусная кислота : муравьиный ангидрид : вода в соотношении 100 : 11 : 11 : 27 [8]. Хроматографическую камеру предварительно насыщали парами элюентов в течение 30 мин, время анализа составило 20 мин, высота подъема растворителя – 8 см. После прохождения фронта растворителя пластинки высушивали. Детектирование оксикоричных кислот проводили путем обработки хроматограмм парами концентрированного раствора аммиака, при определении флавоноидов – 2%-ным раствором хлорида алюминия в 95%-ном этиловом спирте. Хроматограммы просматривали в видимом и УФ-свете при длине волны 365 нм в сравнении с нанесенными параллельно референс-стандартами флавоноидов: рутина (CAS № 153-18-4), кверцетина (Sigma PHR1488), кемпферола (Sigma K0133) и оксикоричных кислот: кофейной (CAS № 501-16-6), 2-гидроксикоричной (CAS № 614-60-8), транс-коричной (Sigma-Aldrich W228826), феруловой (Pharmafiliates PA 27 01261) и хлорогеновой (CAS № 327-97-9).

Для определения присутствия в составе БАС *N. rossica* кумариноподобных соединений проводили лактонную пробу – к извлечению, полученному с использованием в качестве экстрагента 96%-ного этилового спирта приливали равный объем 5%-ного раствора гидроксида калия в 95%-ном этаноле и наблюдали выпадение осадка, который растворялся при добавлении к нему избыточного объема воды.

Полученные извлечения исследовали методом спектрофотометрии. Оптическую плотность растворов измеряли на спектрофотометре СФ-56 (ЗАО “ОКБ Спектр”, Россия). Для определения количественного содержания флавоноидов использовали фармакопейный метод, основанный на поглощении света при длине волны 410 нм хромогенным комплексом, образованным при взаимодействии извлечения с 2%-ным раствором хлори-

Таблица 1. Содержание веществ фенольной природы (в %, в пересчете на абсолютно сухое сырье) в экстрактах *Nonea rossica* Steven

Table 1. Content of phenolic compounds (% , on oved-dry raw material basis) in *Nonea rossica* Steven extracts

Группа БАС Biologically active compounds	Концентрация этанола используемого для получения экстракта Concentration of ethanol used as a solvent			
	20%	40%	70%	96%
Оксикоричные кислоты* ¹ Hydroxycinnamic acids* ¹	0.27 ± 0.05	0.72 ± 0.12	0.91 ± 0.14	0.07 ± 0.02
Флавоноиды* ² Flavonoids* ²	0.56 ± 0.06	0.75 ± 0.08	0.78 ± 0.1	0.27 ± 0.05

Примечание. *¹ — в пересчете на кофейную кислоту. *² — в пересчете на рутин.

Note. *¹ — expressed as caffeic acid. *² — expressed as rutin.

да алюминия(III) в 95%-ном этиловом спирте, и известному коэффициенту экстинкции рутина $A = 248.0\%^{-1}\text{см}^{-1}$ (ФС.2.5.0044.15 “Фиалки трава” [9]), с использованием в качестве раствора сравнения извлечения без добавления хлорида алюминия. Определение оксикоричных кислот в пересчете на кофейную производили по измеренной оптической плотности при $\lambda = 325$ нм и коэффициенту экстинкции $A = 782.0\%^{-1}\text{см}^{-1}$ [10].

Антимикробную активность определяли рекомендованными методами для испытания новых соединений [11]. При этом штаммы микроорганизмов культивировали в жидких питательных средах, в которые добавляли исследуемый экстракт (извлечения из надземной части *Nonea rossica*, полученные с использованием в качестве экстрагента этилового спирта указанных выше концентраций).

В качестве тест-культур использованы штаммы грамположительных бактерий (*Staphylococcus aureus* ATCC 6538 FDA 209P и *Bacillus cereus* ATCC 10702) и грибов рода *Candida albicans* NCTC 885-653 из коллекции Федерального бюджетного учреждения науки Государственного научного центра прикладной микробиологии и биотехнологии (ФБУН ГНЦ ПМБ), г. Оболенск.

Культивирование микроорганизмов проводили на агаровой и бульонной средах Мюллер–Хинтон в аэробных условиях при температуре +37 °С. Время культивирования составляло 1–2 сут. Анализ антибактериальной активности проводили методом разведений в жидкой среде в общем объеме 1 мл. Вносимую дозу культур бактерий изначально определяли по McFarland, затем разводили до нужной концентрации микробных клеток на миллилитр и контролировали количество жизнеспособных микроорганизмов высевом на плотную питательную среду. Вносимые дозы бактериальных культур — составили: — $(6.39 \pm 0.87) \times 10^3$ КОЕ/0.1 мл; $(6.50 \pm 0.76) \times 10^3$ КОЕ/0.1 мл и $(1.06 \pm 0.09) \times 10^3$ КОЕ/0.1 мл для *Staphylococcus*

aureus, *Bacillus cereus* и *Candida albicans* соответственно.

Отсутствие признаков роста в жидкой среде контролировали путем посева на поверхность агаровой среды с последующей инкубацией в стандартных условиях. В качестве отрицательного контроля тест-культуру вносили в 1 мл бульона и культивировали в тех же условиях с последующим посевом на агаровую питательную среду и учетом роста бактерий.

Для исключения подавляющего влияния на рост микроорганизмов экстрагента (20-, 40-, 70- и 96%-ного этилового спирта) проводили контрольный опыт в дозировке спирта — 100 мкл соответствующей концентрации.

Для оценки количества колониеобразующих единиц рассчитывали значения средних величин и стандартного отклонения.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ хроматограмм показал, что в надземной части *Nonea rossica* среди оксикоричных кислот присутствуют хлорогеновая и кофейная кислоты, с преобладанием последней, а среди флавоноидов — рутин и кемпферол. При этом установлено, что максимальное количество оксикоричных кислот извлекается 40–70%-ным этиловым спиртом (табл. 1).

При исследовании содержания флавоноидов наблюдали батохромный сдвиг — максимум поглощения хромогенного комплекса относительно исходного извлечения сместился в более длинноволновую область (рис. 1), и выявили зависимость увеличения количественного содержания флавоноидов в извлечениях при увеличении концентрации спирта, снижение наблюдали при использовании 96%-ного спирта (табл. 1). Это можно объяснить тем, что флавоноиды в ЛРС содержатся в виде гликозидов, растворимость которых, в силу их гидрофильности, снижается с увеличе-

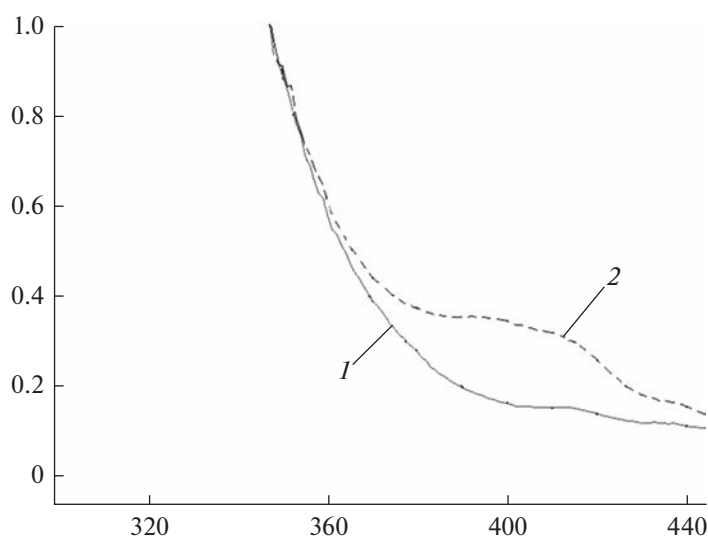


Рис. 1. УФ-спектры хромогенного комплекса извлечения с AlCl_3 (2) и чистого извлечения (1). По горизонтали — длина волны, λ , нм; по вертикали — оптическая плотность, D .

Fig. 1. UV-Vis spectra of chromogenic complex of extract with AlCl_3 (2) and pure extract (1). X-axis — wavelength, λ , nm; y-axis — optical density, D .

нием концентрации этанола. Таким образом, результаты эксперимента показали, что вещества фенольной природы в большем количестве извлекаются при концентрации 40–70%-ного этилового спирта.

Исследование антимикробной активности водорастворимых суммарных извлечений из надземной части *Nonea rossica* выявило антибактериальную активность (в отношении *Staphylococcus aureus* и *Bacillus cereus*) и противогрибковую активность (в отношении *Candida albicans*) в дозах, превышающих 500 мкг/мл, что показало нецелесообразность определения величин МИК [11], из-за снижения растворимости субстанций и потенциальной низкой эффективности препаратов. Отметим, что спиртовые растворы извлечений проявили оригинальные свойства. Экстракты (40-, 70-, 96%-ный) надземной части *Nonea rossica* в объеме 100 мкл полностью ингибировали рост культур: *Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus* и *Candida albicans* (табл. 2), в то время как экстракт, полученный с использованием в качестве экстрагента 20%-ного этанола, не проявлял ингибирующих свойств.

При анализе влияния экстрагента обнаружено, что 96- и 70%-ный этиловый спирт в дозе 100 мкл также подавляют рост *Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus* и *Candida albicans*, а 40%-ный этанол не оказывает ингибирующего влияния на рост культур. Поэтому для исключения влияния 70%-ного этилового спирта на результаты эксперимента и подтверждения антимикробной активности суммы действующих веществ было получено суммарное спиртовое извлечение с помощью

70%-ного этанола, из которого полностью удалили экстрагент и растворили сухой остаток в эквивалентном количестве 40%-ного этилового спирта. Проведенная оценка влияния полученного экстракта на рост *Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus* и *Candida albicans* подтвердила противомикробную и противогрибковую активность извлечения в дозировке 100 мкл (табл. 2).

Установленная активность в отношении исследованных культур может быть связана с наличием в составе фенольного комплекса — нонеазида и кофейной кислоты, а также кумариноподобных веществ (положительная лактонная проба). Следует обратить внимание, что и нонеазид содержит в своем составе кофеил — радикал кофейной кислоты, который при кислотном гидролизе нонеазида в ЖКТ будет отщепляться от его структуры с образованием кофейной кислоты и тем самым усиливать антибактериальную активность [12]. Антигрибковую активность можно отнести на счет действия кумариноподобных соединений [2].

Для определения действующих веществ, с которыми может быть связана антимикробная активность, экстракты, полученные с использованием 40- и 70%-ного этанола, высушивали и получали сумму экстрактивных веществ, выделенных из растения соответствующим экстрагентом. К высушенным экстрактивным веществам для выделения липофильных соединений добавляли 20 мл 95%-ного этанола. Колбы с притертыми пробками помещали на шейкер и непрерывно взбалтывали в течение четырех часов. Затем растворы переносили в пробирки и центрифугировали со скоростью 8000 об./мин в течение 15 мин

Таблица 2. Антимикробная и противогрибковая активность экстрактов *Nonea rossica* Steven (“+” – рост есть; “–” – роста нет)

Table 2. Antimicrobial and antifungal activity of *Nonea rossica* Steven extracts (“+” – indicates growth; “–” – indicates no growth)

Вид возбудителя Type of pathogen	Дозировка Dosage	Концентрация экстрагента Extractant concentration			
		96%	70%	40%	20%
<i>Staphylococcus aureus</i> , 10 ³	Экстракт – 100 мкл extract – 100 µL	–	–	–	+
	Экстракт – 50 мкл extract – 50 µL	+	+	+	+
	Этанол – 100 мкл ethanol – 100µL	–	–	+	+
<i>Bacillus cereus</i> , 10 ³	Экстракт – 100 мкл extract – 100 µL	–	–	–	+
	Экстракт – 50 мкл extract – 50 µL	+	+	+	+
	Этанол – 100 мкл ethanol – 100 µL	–	–	+	+
<i>Candida albicans</i> , 10 ³	Экстракт – 100 мкл extract – 100 µL	–	–	–	+
	Экстракт – 50 мкл extract – 50 µL	+	+	+	+
	Этанол – 100 мкл ethanol – 100 µL	–	–	+	+

для удаления мелкодисперсных примесей. Надосадочную жидкость сливали, отбирали 5 мл полученного фильтрата и записывали УФ-спектры-1 (спектры спиртового раствора липофильного комплекса, содержащегося в экстрактивных веществах). К оставшимся 15 мл фильтрата добавляли равный объем 5%-ного раствора гидроксида калия в 95%-ном этаноле и помещали на 30 мин в нагретую до 60 °С водяную баню, после охлаждения раствор переносили в пробирки и центрифугировали со скоростью 8000 об./мин в течение 15 мин. После центрифугирования надосадочную жидкость сливали, образовавшийся осадок промывали 95%-ном этанолом, высушивали и растворяли в 20 мл воды очищенной. Для полученных растворов записывали УФ-спектры-2 (спектры растворенного в воде осадка, образовавшегося в результате раскрытия лактонного кольца (лактонной пробы)).

Далее УФ-спектры-1 и УФ-спектры-2 (рис. 2) сравнивали со спектрами референс-стандартов (рис. 3). Спектр-2 совпал со спектром 2-гидроксикоричной кислоты (рис. 3), которая образуется в результате раскрытия лактонного кольца из кумарина, что свидетельствует о наличии кумаринов в экстрактивных веществах, выделенных из сырья 40%- и 70%-ным этанолом. Спектры до лактонной пробы (спектры-1) не совпадают в точности ни со спектром кумарина, ни со спек-

тром кофейной кислоты (рис. 3). Вполне логично предположить, что спектр-1 представляет собой суперпозицию спектров кумарина и кофейной кислоты. В этом случае на основании аддитивности закона Бугера–Ламберта–Бера, в соответствии с методикой [13] может быть составлена система из двух уравнений (1) для количественного определения кумарина и кофейной кислоты в объектах в виде:

$$D_{273} = E_1 C_1 + E_2 C_2, \quad (1)$$

$$D_{325} = E_1 C_1 + E_2 C_2,$$

где E_1 и E_2 – процентная экстинкция (%⁻¹см⁻¹) кумарина и кофейной кислоты на длинах волн 273 и 325 нм (длины волн характерных максимумов кумарина и кофейной кислоты соответственно), C_1 и C_2 – содержание (%) кумарина и кофейной кислоты в исследуемом растворе.

Зависимость экстинкции кумарина и кофейной кислоты от длины волны поглощаемого излучения изучена достаточно хорошо и приведена в литературных источниках [10, 14], что позволяет учесть зависимость величин процентной экстинкции от длины волны излучения и представить систему уравнений (1) в виде:

$$D_{273} = 733C_1 + 434C_2, \quad (2)$$

$$D_{325} = 289C_1 + 782C_2.$$

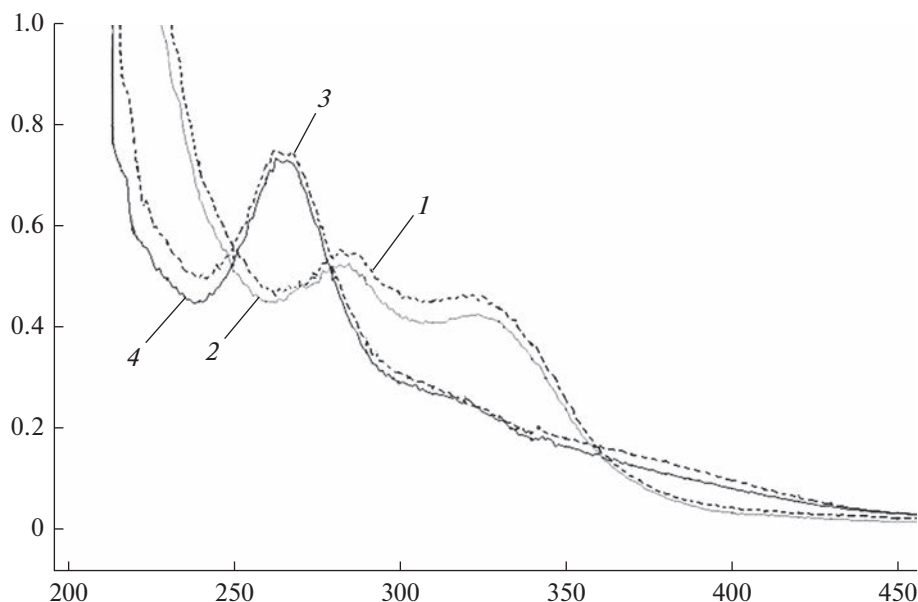


Рис. 2. УФ-спектры исследуемых растворов экстрактов *Nonea rossica* Steven до и после лактонной пробы. По горизонтали – длина волны, λ , нм; по вертикали – оптическая плотность, D . 1 – экстракт экстрактивных веществ, выделенных 70%-ным этанолом, в 95%-ном этаноле до проведения лактонной пробы; 3 – раствор в воде осадка, образовавшегося в результате проведения лактонной пробы (1); 2 – раствор экстрактивных веществ, выделенных 40%-ным этанолом в 95%-ном этаноле до проведения лактонной пробы; 4 – раствор осадка, образовавшегося в результате проведения лактонной пробы раствора (2).

Fig. 2. UV-Vis spectra of the studied solutions before and after the lactone test. X -axis – wavelength, λ , nm; y -axis – optical density, D .

1 – 95% ethanolic extract of the extractives isolated with 70% ethanol (before the lactone test); 3 – water solution of precipitate formed as a result of the lactone test (1); 2 – 95% ethanolic extract of the extractives isolated with 40% ethanol (before the lactone test); 4 – water solution of precipitate formed as a result of the lactone test of the solution (2).

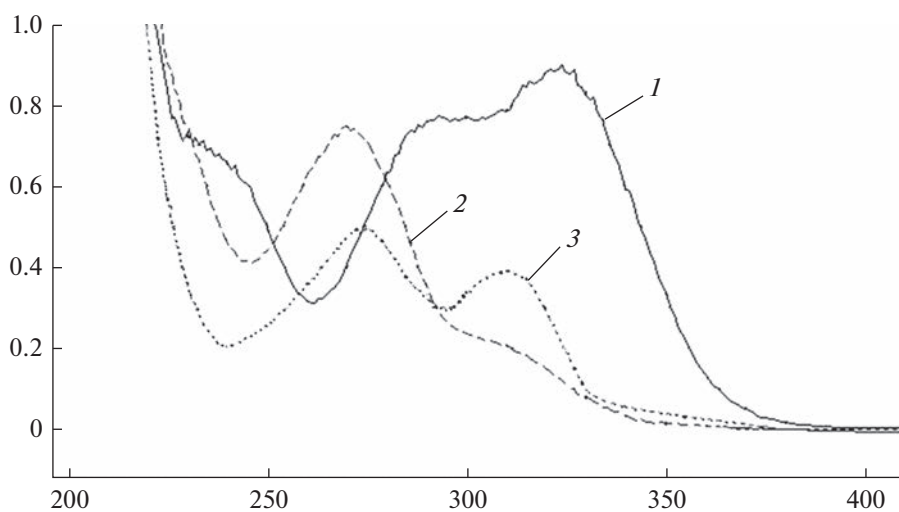


Рис. 3. УФ-спектры референс-стандартов. По горизонтали – длина волны, λ , нм; по вертикали – оптическая плотность, D . 1 – кофейная кислота; 2 – 2-гидроксикоричная кислота; 3 – кумарин.

Fig. 3. UV spectra of reference standards. X -axis – wavelength, λ , nm; y -axis – optical density, D . 1 – caffeic acid; 2 – 2-hydroxycinnamic acid; 3 – coumarin.

Детерминант системы линейных уравнений (2) не равен нулю, и соответственно система имеет единственное решение, что позволяет найти корни уравнений (величины C_1 и C_2 , т.е. concentra-

ции кумарина и кофейной кислоты) по методу Крамера [15].

Приведенные в табл. 3 результаты показывают, что экстракты, полученные из надземной ча-

Таблица 3. Содержание кумарина и кофейной кислоты в экстрактивных веществах, полученных из сырья *Nonea rossica* Steven с использованием этанола разных концентраций

Table 3. Content of coumarin and caffeic acid in extractive substances obtained from *Nonea rossica* Steven raw materials using ethanol of different concentrations

Концентрация экстрагента, % Extractant concentration, %	Кумарин, % Coumarin, %	Кофейная кислота, % Caffeic acid, %
40	0.14 ± 0.02	0.15 ± 0.025
70	0.16 ± 0.03	0.18 ± 0.04

сти нонеи русской с использованием в качестве экстрагента этилового спирта, содержат в качестве главных действующих веществ оксикоричные кислоты (преимущественно кофейную) и кумарины, которые отвечают за проявление антибактериальной и антигрибковой активности таких экстрактов. При этом по количественному содержанию БАС экстракты, полученные с использованием и 40%- и 70%-ного этанола, значимых различий не имеют.

В целом, представляется весьма вероятным, что благодаря синергетическому взаимодействию кофейной кислоты и кумарина, спиртовые экстракты надземной части нонеи русской обладают и бактерицидными и фунгицидными свойствами. Кроме того, вызывает интерес способность суммарных спиртовых извлечений из надземной части (травы) *Nonea rossica* подавлять рост *Staphylo-*

coccus aureus и, особенно, в сочетании с их свойствами прямых антикоагулянтов [16]. Такое сочетанное действие извлечений из нонеи особенно важно, если учесть, что *Staphylococcus aureus*, в отличие от менее вирулентных коагулазо-негативных штаммов, может активировать тромбообразование в кровеносной системе путем продуцирования коагулазы [17]. Таким образом, полученные результаты позволяют рассматривать *Nonea rossica* в качестве перспективного растения с целью создания новых антибактериальных и противогрибковых препаратов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучены фитохимические характеристики и антимикробные свойства экстрактов надземной части (травы) нонеи русской *Nonea rossica* Steven (Boraginaceae). Исследование показало, что:

1. В составе спиртовых экстрактов *N. rossica* выявлено присутствие веществ фенольной природы: оксикоричных кислот, флавоноидов и ку-мариноподобных соединений.

2. Впервые выявлена активность спиртовых извлечений в отношении грамположительных бактерий (*Staphylococcus aureus* и *Bacillus cereus*) и грибов *Candida albicans*.

3. Антибактериальная и антигрибковая активность спиртовых экстрактов *Nonea rossica*, по-видимому, определяется действием кумарина и кофейной кислоты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шамсутдинов А.Ф., Тюрин Ю.А. 2014. Белковые токсины *Staphylococcus aureus*. — Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии. 2: 113–120. <https://microbiol.crie.ru/jour/article/view/13965>
2. Марьян А.А., Коломиец Н.Э. 2017. Лекарственные растения и биологически активные вещества противогрибкового действия. — Фундаментальная и клиническая медицина. 2(4): 45–55. <https://fcm.kemsmu.ru/jour/article/view/69>
3. Altundag E., Ozturk M. 2011. Ethnomedicinal studies on the plant resources of east Anatolia, Turkey. — Procedia Soc. Behav. Sci. 19: 756–777. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2011.05.195>
4. Haval H. Mohammed, Fuad O. Abdullah. 2022. Microwave-assisted extraction and phytochemical profile of *Nonea pul-monarioides* and its antifungal, antibacterial, and antioxidant activities. — J. Food Qual. Article ID 5135880. <https://doi.org/10.1155/2022/5135880>
5. Биологически активные растения и грибы Сибири в клинической медицине. Т. 2. М. 382 с.
6. Imran M., Ullah F., Ayaz M., Sadiq A., Shah M.R., Jan M.S., Ullah F. 2017. Anticholinesterase and antioxidant potentials of *Nonea micrantha* Bioss. et Reut along with GC-MS analysis. — BMC Complement. Altern. Med. 17: 499. <https://doi.org/10.1186/s12906-017-2004-9>
7. Оленников Д.Н., Карташова М.Е., Величко В.В., Круглов Д.С. 2022. Новые флавоноиды из *Nonea rossica* и *Tournefortia sibirica*. — Хим. природ. соедин. 6: 859–862.
8. British herbal pharmacopoeia. 1996. London. 212 p.
9. Фиалки трава. ФС.2.5.0044.15. 2018. — В кн.: Государственная Фармакопея Российской Федерации. XIV издание. Т. 4. М. С. 6528–6538. <https://pharmacopoeia.regmed.ru/pharmacopoeia/izdanie-14/2/2-5/fialki-trava-violae-herba/>

10. Belay A. 2012. Spectrophotometric method for the determination of caffeic acid complexation and thermodynamic properties. — Int. J. Biophys. 2(2): 12–17
<https://doi.org/10.5923/j.biophysics.20120202.01>
11. Руководство по проведению доклинических исследований лекарственных средств. 2012. Ч. 1. М. 944 с.
https://rsmu.ru/fileadmin/templates/DOC/Zakon_RF/Mironov_Rukovodstvo_po_provedeniju_doklinicheskikh_issledovaniy_lekarstvennykh_sredstv.pdf
12. Лужанин В.Г., Уэйли А.К., Понкратова А.О., Новикова В.В., Безверхняя Е.А. 2022. Противомикробная активность соединений полифенольной природы. — Разработка и регистрация лекарственных средств. 11(2): 65–72.
<https://doi.org/10.33380/2305-2066-2022-11-2-65-72>
13. Величко В.В., Круглов Д.С. 2021. Спектрофотометрическое определение А-витаминной активности каротиноидосодержащего сырья. — J. Sib. Med. Sci. 4: 17–26.
<https://doi.org/10.31549/2542-1174-2021-4-17-26>
14. Comtain. NIST WebBook, SRD 69 URL: <http://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?ID=C91645&Mask=400> (Дата обращения 20.03.2023)
15. Ильин В.А., Позняк Э.Г. 2020. Линейная алгебра. М. 280 с.
16. Губаев А.Г., Ортенберг Э.А., Русакова О.А., Чирятьев Е.А. 1996. Фармакологические свойства антикоагулянта прямого действия из травы *Nonea pulla*. — Экспериментальная и клиническая фармакология. 1: 40–44.
17. Алмагамбетов К.Х. 2021. Молекулярная биология *Staphylococcus aureus*. — АМЖ. 1(107): 61–68.
<https://amu.edu.kz/upload/iblock/167/1674799d30389dddb63df4130c8ad394.pdf>

Phytochemical Characteristics and Antimicrobial Effects of *Nonea rossica* (Boraginaceae) Extracts

V. V. Velichko^{a, *}, M. E. Kartashova^a, S. D. Kuchero^a, D. S. Kruglov^a,
L. G. Burova^a, A. N. Evstropov^a

^aNovosibirsk State Medical University, Novosibirsk, Russia

*e-mail: velichkvik@rambler.ru

Abstract—A phytochemical and microbiological analysis of a widespread Russian species, *Nonea rossica* Steven (Boraginaceae) was carried out. As an object of study, we used the aerial part (herb) of *N. rossica*, harvested during flowering stage from a steppe meadow in the Novosibirsk region. The qualitative composition of biologically active compounds (BAC) was determined by thin layer chromatography, using two solvent systems: ethyl acetate–ethanol–dimexide and ethyl acetate–anhydrous formic acid–glacial acetic acid–water. The quantification of their amount was carried out by spectrophotometry (flavonoids expressed as rutin, hydroxycinnamic acids — as caffeic acid, and coumarin-like compounds — as coumarin). The raw material ethanolic extracts of different concentrations (20, 40, 70 and 95%) were used in pharmacological research. Antimicrobial activity was determined by the serial dilution method. Strains of gram-positive bacteria (*Staphylococcus aureus* ATCC 6538 FDA 209P and *Bacillus cereus* ATCC 10702) and fungi — *Candida albicans* NCTC 885-653 were used as test cultures. The presence of bioactive phenolic compounds (hydroxycinnamic acids, flavonoids, coumarins) was established and their quantitative content was determined. It was observed that the highest yield of bioactive phenolic compounds resulted from using 40–70% ethanol as extractant. The microbiological activity of hydroalcoholic extracts from *Nonea rossica* herb was studied. It was determined that antimicrobial activity against *Staphylococcus aureus* and *Bacillus cereus*, and antifungal activity against *Candida albicans* were exhibited by 40–70% ethanolic extracts of *Nonea rossica*, where equal content of caffeic acid and coumarin was measured. The synergistic interaction of these compounds determines the established bactericidal and fungistatic properties of such extracts.

Keywords: *Nonea rossica*, Boraginaceae, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus*, *Candida albicans*, bactericides, fungistatics, coumarin, caffeic acid

REFERENCES

1. Shamsutdinov A.F., Tyurin Yu.A. 2014. Protein toxins of *Staphylococcus aureus*. — Zhurnal mikrobiologii, èpidemiologii i immunobiologii. 2: 113–120. <https://microbiol.crie.ru/jour/article/view/13965> (In Russian)
2. Mar'in A.A., Kolomiets N.E. 2017. Medicinal plants and biologically active substances of antifungal properties. — Fundamental and Clinical Medicine. 2(4): 45–55. <https://fcm.kemsmu.ru/jour/article/view/69> (In Russian)
3. Altundag E., Ozturk M. 2011. Ethnomedicinal studies on the plant resources of east Anatolia, Turkey. — Procedia Soc. Behav. Sci. 19: 756–777.
<https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2011.05.195>

4. Haval H. Mohammed, Fuad O. Abdullah. 2022. Microwave-assisted extraction and phytochemical profile of *Nonea pulmonarioides* and its antifungal, antibacterial, and antioxidant activities. — J. Food Qual. Article ID 5135880. <https://doi.org/10.1155/2022/5135880>
5. [Biologically active plants and fungi of Siberia in clinical medicine: scientific monograph]. 2019. V. 2. Moscow. 382 p. (In Russian)
6. Imran M., Ullah F., Ayaz M., Sadiq A., Shah M.R., Jan M.S., Ullah F. 2017. Anticholinesterase and antioxidant potentials of *Nonea micrantha* Bioss. et Reut along with GC-MS analysis. — BMC Complement. Altern. Med. 17: 499. <https://doi.org/10.1186/s12906-017-2004-9>
7. Olennikov D.N., Kartashova M.E., Velichko V.V., Kruglov D.S. 2022. New flavonoids from *Nonea rossica* and *Tournefortia sibirica*. — Chem. Nat. Compd. 58(6): 1021–1025. <https://doi.org/10.1007/s10600-022-03858-9>
8. British herbal pharmacopoeia. 1996. London. 212 p.
9. *Violae herba*. Pharm.article 2.5.0044.15. 2018 — In: [State Pharmacopoeia of the Russian Federation. XIV edition]. V. 4. Moscow. P. 6528–6538. <https://pharmacopoeia.regmed.ru/pharmacopoeia/izdanie-14/2/2-5/fialki-trava-violae-herba/> (In Russian)
10. Belay A. 2012. Spectrophotometric method for the determination of caffeic acid complexation and thermodynamic properties. — Int. J. Biophys. 2(2): 12–17 <https://doi.org/10.5923/j.biophysics.20120202.01>
11. [Guidelines for conducting preclinical studies of drugs]. 2012. Part 1. Moscow. 944 p. https://rsmu.ru/fileadmintemplates/DOC/Zakon_RF/Mironov_Rukovodstvo_po_provedeniju_doklinicheskikh_issledovaniy_lekarstvennykh_sredstv.pdf (In Russian)
12. Luzhanin V.G., Whaley A.K., Ponkratova A.O., Novikova V.V., Bezverkhniaia E.A. 2022. Antimicrobial activity of polyphenolic nature compounds. — Drug development et registration. 11(2): 65–72. <https://doi.org/10.33380/2305-2066-2022-11-2-65-72> (In Russian)
13. Velichko V.V., Kruglov D.S. 2021. The spectrophotometric determination of A-vitamin activity of carotenoid-containing raw material. — J. Sib. Med. Sci. 4: 17–26. <https://doi.org/10.31549/2542-1174-2021-4-17-26> (In Russian)
14. Coumain. NIST Chemistry WebBook, SRD 69 <http://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?ID=C91645&Mask=400> (accessed 20.03.2023)
15. Il'in V.A., Poznyak E.G. 2020. Linear algebra: a course book. Moscow. 280 p. (In Russian)
16. Gubaev A.G., Ortenberg E.A., Rusakova O.A., Chiryatyev E.A. 1996. Pharmacological properties of direct action anti-coagulant obtained from *Nonea pulla* (L.) DC. — Experimental and clinical pharmacology. 1: 40–44. (In Russian)
17. Almagambetov K.Kh. 2021. Molecular biology of *Staphylococcus aureus*. — Astana Medical Journal. 1(107): 61–68. <https://amu.edu.kz/upload/iblock/167/1674799d30389dddb63df4130c8ad394.pdf> (In Russian)

КОМПОНЕНТНЫЙ СОСТАВ РЕСУРСНЫХ ВИДОВ

ПОЛИСАХАРИДЫ РАСТЕНИЙ *CROTALARIA ALATA* И *GLEDITSIA TRIACANTHOS* В КАЧЕСТВЕ КОМПОНЕНТОВ ПИТАТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ ДЛЯ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ МИКРОСКОПИЧЕСКИХ ГРИБОВ

© 2023 г. Р. П. Закирова¹, *, Ф. Кодиралиева¹, А. М. Хван¹, Р. К. Рахманбердыева¹

¹Институт химии растительных вещества им. акад. С.Ю. Юнусова АН РУз, г. Ташкент, Республика Узбекистан

*e-mail: ranozakirova@mail.ru

Поступила в редакцию 27.11.2022 г.

После доработки 20.05.2023 г.

Принята к публикации 14.06.2023 г.

Изучена возможность использования галактоманнанов семян *Crotalaria alata* L. и *Gleditsia triacanthos* L. (Fabaceae) в качестве закрепителя питательной среды для культивирования микроскопических грибов *Stachybotrys alternans* Bonord. (*Stachybotrys* Corda) и *Fusarium oxysporum* Schr f. *vasinfectum* Bilai. (*Fusarium*). Оптимальный результат был достигнут при комбинировании агар-агара с галактоманнанами *Crotalaria alata* и *Gleditsia triacanthos* в соотношении 1.5 : 4 : 1. Такой состав позволил получить твердую питательную среду, по консистенции и цвету соответствующую 2%-ной агаризованной среде. Для биологической оценки разработанной питательной среды споры микроскопических грибов *Stachybotrys alternans* и *Fusarium oxysporum* наносили на поверхность контрольной и опытной сред и инкубировали в термостате при температуре 25–26 °С. Было показано, что рост колоний *Stachybotrys alternans* и *Fusarium oxysporum* на среде с использованием галактоманнанов опережал рост в контрольном варианте на пятые сутки на 37.2 и 31.5%, на седьмые — на 8.7 и 11.1% соответственно.

Ключевые слова: питательная среда, агар-агар, галактоманнан *Crotalaria alata*, галактоманнан *Gleditsia triacanthos*, *Stachybotrys alternans*, *Fusarium oxysporum*, диаметр колоний

DOI: 10.31857/S003399462303007X, **EDN:** SBYVAM

Общепринято использование агар-агара в качестве уплотняющей основы бактериологических питательных сред и для культивирования растительных клеток в условиях *in vitro*. Он служит инертным носителем и обеспечивает осмотический потенциал среды. В настоящее время агар-агар и агароподобные вещества получают, как правило, из красных морских водорослей [1].

В литературе описаны способы использования в качестве закрепляющей основы среды различных полисахаридов, например, лишайника [2]. В качестве гелеобразующих веществ для культивирования растительных клеточных культур исследованы агароза [3], фитагель [4] и гелрит [5], а также крахмалы как естественного происхождения [6, 7], так и подвергшиеся химической модификации [8]. Состав уплотнителей среды определяется возможностью получения геля оптимальной плотности, не угнетающего рост культуры.

Известно, что галактоманнаны широко используют в пищевой, текстильной, фармацевтической промышленности и медицине благодаря уникальным свойствам водных растворов и от-

сутствию токсичности [9–11]. Полисахариды, растворяясь в воде, образуют вязкие коллоидные растворы. Это свойство позволяет использовать их в качестве загустителей, эмульгаторов, стабилизаторов дисперсных систем, а в бинарных смесях — как геле- и структурообразователи [12, 13]. Для некоторых галактоманнанов выявлена ростостимулирующая активность [14, 15]. В семенах растений эти вещества выполняют резервную, водоудерживающую, защитную и энергетическую функции [16, 17].

Несмотря на то, что особенности химического строения полисахаридов выяснены, их взаимосвязь с биологической активностью остается не раскрытой из-за недоступности определения тонких структурных особенностей биополимеров.

Галактоманнаны ГМ-1 и ГМ-2 состоят из двух моносахаридов: D-маннозы и D-галактозы в соотношении 1 : 3 и 1 : 4 соответственно. Главная цепь галактоманнанов состоит из остатков D-маннозы, соединенных β-1,4-D-гликозидной связью и боковыми ответвлениями α-1,6-галактозными остатками [22]. Известно, что гелевая структура образуется за счет трехмерного сшивания с помощью

химических связей между различными цепями макромолекул в растворе. При этом свойства геля определяются количеством сшивок и свойствами участков полимерной цепи между сшивками.

Образование геля из раствора полисахаридов ГМ-1 и ГМ-2, очевидно, может происходить в основном за счет межмакромолекулярных водородных и гидрофобных взаимодействий. Важную роль при этом должно играть конформационное состояние макромолекулы галактоманнана в растворе, которое зависит от характера линейной маннозной цепи и распределения боковых галактозных остатков, а также от соотношения галактозы и маннозы.

В структуре ГМ-1 боковые ветви галактозы расположены строго через 2 звена маннозной цепи. А в структуре ГМ-2 разветвление наблюдается через 1 или через 2 маннозных звена. То есть структура ГМ-1 является более однородной по сравнению с ГМ-2.

Известно, что агар-агар — это смесь полисахаридов, состоящая из агарозы, линейные молекулы которой построены из чередующихся остатков D- и L-галактозы, и агаропектина, в котором остатки галактозы частично этерифицированы серной кислотой. При этом надо заметить, что гелеобразование особенно характерно для агарозы; накопление в агаропектине отклонений от структуры агарозы (этерифицированных звеньев) приводит к ослаблению и даже к полному исчезновению его гелеобразующей способности. Следовательно, нерегулярная структура агаропектина, вероятно, препятствует гелеобразованию.

Цель работы — изучение возможности использования в качестве закрепителя питательной среды галактоманнанов из семян *Crotalaria alata* L. и *Gleditsia triacanthos* L. (Fabaceae) для культивирования микроскопических грибов *Stachybotrys alternans* Bonord. и *Fusarium oxysporum* Bilai.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Материалом для исследования были семена *Crotalaria alata* и *Gleditsia triacanthos*, собранные на территории Ташкентской обл. Республики Узбекистан.

Для получения галактоманнана из семян *Crotalaria alata* (ГМ-1) использовали методику Ф. Кодиралиевой и Р.К. Рахманбердыевой [18]. Из 100 г воздушно-сухого сырья семян *Crotalaria alata* выход галактоманнана составил 15%. Получение галактоманнана из семян *Gleditsia triacanthos* (ГМ-2) проводили по методике Р.К. Рахманбердыевой с соавторами [19]. Из 100 г кожуры семян *Gleditsia triacanthos* выход галактоманнана составил 18%.

В питательные среды по прописи Чапека в контрольном варианте вносили в качестве закрепителя 2%-ный агар-агар, в опытном — различ-

ные соотношения галактоманнанов в сочетании с агар-агаром. Питательные среды автоклавировали при 1 атм. 20 мин, после остывания до 45–50 °С разливали в чашки Петри. Вязкость разбавленных растворов полисахаридов определяли с помощью вискозиметра типа Убеллодэ при температуре 25 °С.

Для определения скорости роста колоний микроорганизмов использовали метод точечного посева спор. Споровый материал грибов *Stachybotrys alternans* (Stachybotrys Corda) и *Fusarium oxysporum* Schr f. *vasinfectum* Bilai (Fusarium) наносили стерильной иглой на поверхность питательных сред и инкубировали в термостате при температуре 25–26 °С. Измерение диаметра колоний грибов проводили на пятые и седьмые сутки культивирования [20, 21].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В табл. 1 представлены вязкостные характеристики разбавленных водных растворов исследуемых полисахаридов ГМ-1 и ГМ-2, а также их смесей с агар-агаром в различных соотношениях. Видно, что во всех случаях приведенная вязкость смесей резко возрастает по сравнению с вязкостью отдельных компонентов. То есть можно предположить, что при смешении ГМ-1 и ГМ-2 с агар-агаром происходит межмакромолекулярное взаимодействие между цепями различных полисахаридов. Однако степень такого взаимодействия различается в зависимости от природы полисахаридов ГМ-1 и ГМ-2, а также от их соотношения с агар-агаром. Следовательно, при увеличении концентрации смесей полисахаридов с агар-агаром можно ожидать, что при определенных соотношениях компонентов удастся достичь гелевого состояния.

Были испытаны питательные среды, где в качестве закрепителя среды были включены галактоманнаны в отдельности и в различных соотношениях. Как видно в табл. 2, различие в однородности структур исследуемых галактоманнанов также отражается на их способности к гелеобразованию. Так, ГМ-1 в концентрации 10 и 20% образует твердый гель. Высокая неоднородность структуры ГМ-2 вероятно ослабляет возможность образования геля и ГМ-2 находится в вязкотекучем состоянии даже в концентрации 10 и 20%.

Учитывая различную способность ГМ-1 и ГМ-2 к гелеобразованию с целью выявления возможности замены агар-агара полисахаридами изучен двухкомпонентный состав, где в качестве закрепителя были испытаны композиции, состоящие из агар-агара и одного из исследуемых галактоманнанов: *Crotalaria alata* (ГМ-1) или *Gleditsia triacanthos* (ГМ-2) (табл. 2).

При использовании в качестве закрепителя среды галактоманнана ГМ-2 в концентрациях 30 г/л

Таблица 1. Вязкость растворов в зависимости от состава среды полисахаридов**Table 1.** Dependence of solution viscosity on the composition of the polysaccharide medium

Состав Composition	Концентрация (г/л) Concentration (g/L)	Содержание, % Content, %	Соотношение компонентов, % Component ratio, %	Приведенная вязкость $\eta_{\text{прив}}$ (дЛ/г) Reduced viscosity η_{red} (dL/g)
Агар-агар Agar-agar	0.006	100	—	6.1
	0.010			7.0
	0.020			9.25
ГМ-1 GM-1	0.010	100	—	26.0
	0.020			31.5
ГМ-2 GM-2	0.010	100	—	100
	0.020			188.8
Агар-агар Agar-agar	0.006	23.0	1 : 3.3	37.0
ГМ-1 GM-1	0.020	77.0		
Агар-агар Agar-agar	0.010	33.3 66.7	1 : 2	44.4
ГМ-1 GM-1	0.020			
Агар-агар Agar-agar	0.006	23.0	1 : 3.3	172.5
ГМ-2 GM-2	0.020	77.0		
Агар-агар Agar-agar	0.010	33.3 66.7	1 : 2	201.5
ГМ-2 GM-2	0.020			
Агар-агар Agar-agar	0.010	25.0	1 : 3	229.6
ГМ-2 GM-2	0.030	75.0		
Агар-агар Agar-agar	0.006	23.0	1 : 1.67 : 1.67	107.6
ГМ-1 GM1	0.010	38.5		
ГМ-2 GM-2	0.010	38.5		
Агар-агар Agar-agar	0.006	22.7	1 : 2.7 : 0.7	57.6
ГМ-1 GM-1	0.016	61.3		
ГМ-2 GM-2	0.004	15.9		

Примечание. Здесь и в табл. 2: ГМ-1 — галактоманнаны, выделенные из *Crotalaria alata*; ГМ-2 — галактоманнаны, выделенные из *Gleditsia triacanthos*.

Note. Here and in table 2: GM-1 — galactomannans isolated from *Crotalaria alata*; GM-2 — galactomannans isolated from *Gleditsia triacanthos*.

Таблица 2. Зависимость физического состояния среды от состава полисахаридов
Table 2. Dependence of the physical state of the medium on the polysaccharide composition

Состав загустителей Composition of stabilizer			Физическое состояние питательной среды The physical state of the growth medium
Агар-агар, (г/л) Agar-agar, (g/L)	ГМ-1 (г/л) GM-1 (g/L)	ГМ-2 (г/л) GM-2 (g/L)	
20	—	—	Твердая однородная Solid homogeneous
10	20	—	Твердая однородная Solid homogeneous
6	20	—	Мягкая однородная Soft homogeneous
2	30	—	Твердая со сгустками Solid with clots
—	30	—	Твердая со сгустками Solid with clots
10	—	30	Мягкая Soft
10	—	20	Мягкая Soft
6	—	20	Вязкотекучая Viscous
6	10	10	Мягкая Soft
6	16	4	Твердая однородная Solid homogeneous

Примечание. Прочерк означает отсутствие этого компонента в составе загустителей.
 Note. A dash means the absence of the component in stabilizer.

или 20 г/л с добавлением агар-агара 10 г/л среда была мягкой по консистенции, а при снижении содержания агар-агара до 6 г/л среда оставалась в вязкотекучем состоянии. Таким образом, все исследованные соотношения агар-агар : ГМ-2 не привели к образованию геля с необходимыми для биологии свойствами (твердость). Тем не менее, в смеси 25- и 33%-ного агар-агара с ГМ-2 в количестве 30 и 20 г/л образовывался мягкий гель.

При внесении 10 г/л агар-агара (50% от нормы) с добавлением 20 г/л ГМ-1 среда по твердости соответствовала контрольному варианту. При уменьшении содержания агар-агара до 6 г/л при той же концентрации галактоманнана наблюдалось снижение жесткости среды, не позволяющее проводить посев микроорганизмов на ее поверхности. При увеличении концентрации галактоманнана ГМ-1 до 30 г/л в сочетании с агар-агаром в количестве 2 г/л, а также при этой же концентрации ГМ-1 с полным исключением агар-агара, питательная среда представляла собой густой неоднородный клейстер, с трудом разливалась после автоклавирования и неравномерно распреде-

лялась по поверхности чашек Петри. Таким образом, в смеси агар-агар/ГМ-1 = 23/77% образуется мягкий гель, а в смеси, где агар заменен на 66.7% полисахаридом ГМ-1, удается получить твердый гель с необходимыми характеристиками.

Из полученных результатов следует, что макромолекулы ГМ-1 гораздо более способны к трехмерному взаимодействию с макромолекулами агар-агара с образованием твердого геля в отличие от ГМ-2, который может образовать только мягкий неустойчивый гель. Различие в гелеобразующей способности исследуемых галактоманнов позволили предположить возможность частичной замены агар-агара сочетанием полисахаридов ГМ-1 и ГМ-2 с агар-агаром для получения питательной среды с необходимыми параметрами. Для исследования этой возможности была изучена трехкомпонентная система с различным их соотношением.

При соотношении ГМ-1 и ГМ-2 1 : 1 в концентрации 10 г/л с добавлением агар-агара в концентрации 6 г/л, среда имела мягкую консистенцию. Использование в качестве закрепителя смеси по-

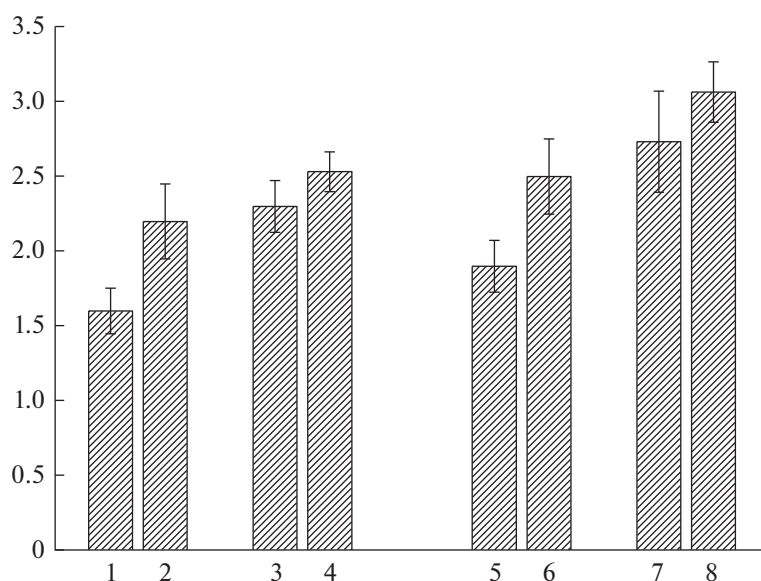


Рис. 1. Диаметр (см) колоний грибов *Stachybotrys alternans* и *Fusarium oxysporum* на контрольной и питательной среде. *Stachybotrys alternans*: 1 — на пятые сутки на стандартной среде; 2 — на пятые сутки на опытной среде; 3 — на седьмые сутки на стандартной среде; 4 — на седьмые сутки на опытной среде. *Fusarium oxysporum*: 5 — на пятые сутки на стандартной среде; 6 — на пятые сутки на опытной среде; 7 — на седьмые сутки на стандартной среде; 8 — на седьмые сутки на опытной среде.

Fig. 1. Diameter (cm) of fungal colonies of *Stachybotrys alternans* and *Fusarium oxysporum* on the standard and experimental medium. *Stachybotrys alternans*: 1 — on the fifth day on the standard medium; 2 — on the fifth day on the experimental medium; 3 — on the seventh day on the standard medium; 4 — on the seventh day on the experimental medium. *Fusarium oxysporum*: 5 — on the fifth day on the standard medium; 6 — on the fifth day on the experimental medium; 7 — on the seventh day on the standard medium; 8 — on the seventh day on the experimental medium.

лисахаридов (16 г/л ГМ-1, 4 г/л ГМ-2) и 6 г/л агар-агара на один литр среды приводило к резким изменениям по качественным показателям студня. Готовая стерильная среда хорошо разливалась по чашкам и после застывания образовала эластичный гладкий студень, который по консистенции и по цвету соответствовал 2%-ной агаризованной среде.

Показано, что при замещении агар-агара полисахаридами ГМ-1 и ГМ-2 на 38.5% каждый, можно получить только мягкий гель. Однако, при замещении агара на 61.3% полисахаридом ГМ-1 и на 15.9% полисахаридом ГМ-2 получен твердый гель. Разработанная трехкомпонентная питательная среда хорошо держалась в чашках, имела гладкую поверхность, посев культуры и снятие ее бактериологической петлей и стеклянным шпателем не вызывали затруднений.

С целью установления биологических показателей разработанной трехкомпонентной среды были использованы в качестве тест объектов микроскопические грибы *Stachybotrys alternans* и *Fusarium oxysporum*.

Изучение скорости роста микроскопических грибов показало, что на 5-е сутки размеры колоний *Stachybotrys alternans* на среде с использованием в качестве закрепителя среды галактоман-

нанов ГМ-1 и ГМ-2 достигали 2 см тогда как на обычной агаризованной — 1.6 см. На 7-е сутки эти показатели составляли 2.5 и 2.3 см, соответственно (рис. 1). Диаметр колоний гриба *Fusarium oxysporum* на пятые сутки на опытной среде достигал 2.5 см на седьмые — 3.0 см, тогда как на обычной агаризованной на пятые сутки — 1.9 см, на седьмые — 2.7 см.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе проведенного исследования показана возможность замены агар-агара галактоманнанами семян *Crotalaria alata* L. и *Gleditsia triacanthos* L. (Fabaceae) в составе питательной среды для *Stachybotrys alternans* Bonord. (*Stachybotrys* Corda) и *Fusarium oxysporum* Schr f. *vasinfectum* Bilai (*Fusarium*) в соотношении: 6 г/л агар-агара, 16 г/л галактоманнана *Crotalaria alata* (ГМ-1) и 4 г/л *Gleditsia triacanthos* (ГМ-2). Таким образом, полисахариды ГМ-1 и ГМ-2 способны частично (на 61.3 и 15.9% соответственно) заменить агар-агар.

Установлено, что питательная среда, содержащая в качестве загустителей три вида исследованных полисахаридов, является более благоприятной для роста микроскопических грибов. Трехкомпонентная питательная среда обеспечивает более активный рост колоний *Stachybotrys alter-*

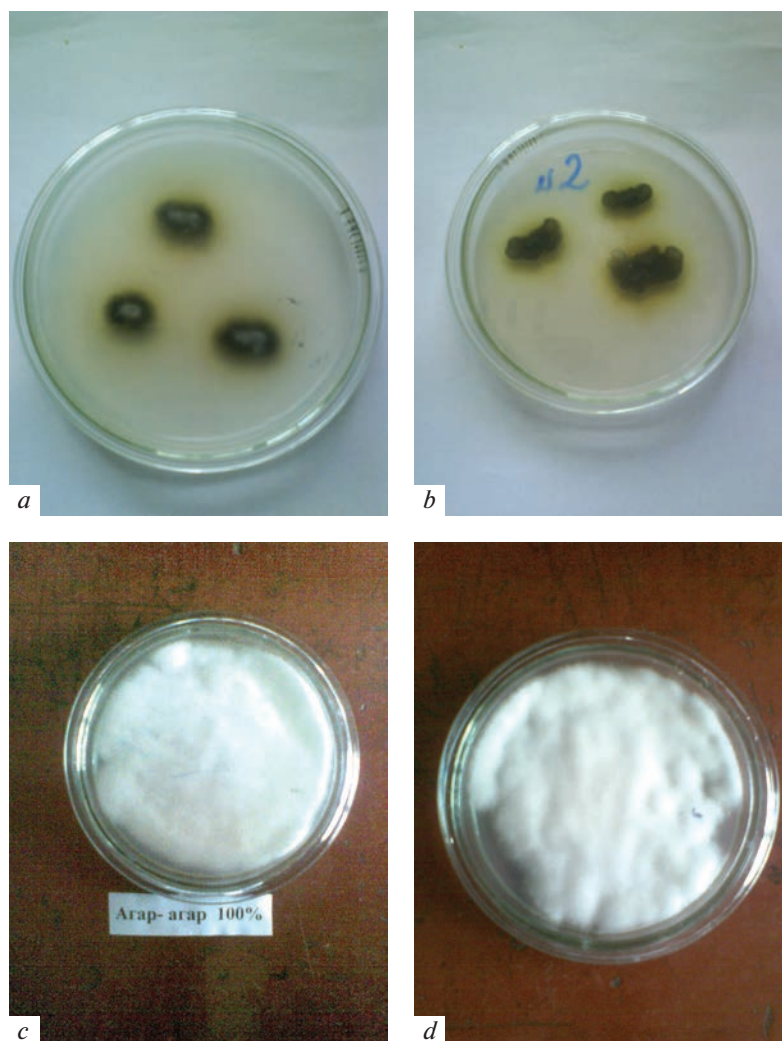


Рис. 2. Рост мицелия грибов: а) точечный посев *Stachybotrys alternans* на стандартной среде; б) точечный посев *Stachybotrys alternans* на опытной среде; в) сплошной посев *Fusarium oxysporum* на стандартной среде; д) сплошной посев *Fusarium oxysporum* на опытной среде.

Fig. 2. Growth of mycelium of fungi: i) spot inoculation of *Stachybotrys alternans* on a standard medium; b) spot inoculation of *Stachybotrys alternans* on an experimental medium; c) spread inoculation of *Fusarium oxysporum* on a standard medium; d) spread inoculation of *Fusarium oxysporum* on an experimental medium.

nans и *Fusarium oxysporum* по сравнению со стандартной средой на агар-агаре. Рост колоний на среде с использованием галактоманнанов опере-

жал контрольный вариант на пятые сутки на 37.2 и 31.5%, а на седьмые — на 8.7 и 11.1% соответственно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кизеветтер И.В., Грюнер В.С., Евтушенко В.А. 1967. Переработка морских водорослей и других промысловых водных растений. М. 416 с.
2. Лазыкин А.Г., Черкасов Н.А., Ковтун А.Л., Рогожин А.З., Нестеров Ю.Е., Кузнецов В.Г. 1999. <https://patents.google.com/patent/RU2129159C1/ru>
3. Kohlenbach H.W., Wernicke W. 1978. Investigations on the inhibitory effect of agar and the function of active carbon in anther culture. — Ztsch. Pflanzenphysiol. 86(5): 463–472. [https://doi.org/10.1016/S0044-328X\(78\)80292-X](https://doi.org/10.1016/S0044-328X(78)80292-X)
4. González M., Hernández I., Jouve N. 1997. Analysis of anther culture response in hexaploid triticale. — Plant Breed. 116(3): 302–304. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0523.1997.tb01003.x>

5. Halberg N., Olesen A., Tuvevsson K.D., Andersen S.B. 1990. Genotypes of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) with high anther-culture response through hybridization. — Plant Breed. 105(2): 89–94. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0523.1990.tb00459.x>
6. Finnie S.J., Powell W., Dyer A.F. 1989. The effect of carbohydrate composition and concentration on anther culture response in barley (*Hordeum vulgare* L.). — Plant Breed. 103(2): 110–118. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0523.1989.tb00358.x>
7. Sorvari S. 1986. The effect of starch gelatinized nutrient media in barley anther culture. — Ann. Agr. Fenn. 25: 127–133.
8. Белинская Е.В., Дульнев П.Г. 2007. Модифицированный крахмал как компонент питательной среды для получения гаплоидов ячменя в культуре пыльников *in vitro*. — Физиология и биохимия культурных растений. 39(2): 136–143.
9. Nagori B.P., Mathur N.K. 1996. Preparation of galactomannans beads for pharmaceutical applications. — Indian J. Chem. Technol. 3(5): 279–281. <http://nopr.niscpr.res.in/handle/123456789/31042>
10. Edwards M., Reid J.S.G. 1995. Galactomannans and other cell wall storage polysaccharides in seeds. — In: Food Polysaccharides and their application. New York. P. 155–185.
11. Rakhmanberdiyeva R.K., Rakhimov D.A., Vakhabov A.A., Khushbaktova Z.A., Syrov V.N. 2005. Galactomannans from *Gleditsia macracantha* seeds and its biological activity. — Chem. Nat. Compd. 41(1): 11–13. <https://doi.org/10.1007/s10600-005-0062-6>
12. Анулов О.В., Смирнова Н.И., Местечкина Н.М., Щербухин В.Д. 1998. Галактоманнаны семян некоторых видов бобовых. — Физиология растений. 45(6): 922–924.
13. Щербухин В.Д., Анулов О.В. 1999. Галактоманнаны семян бобовых (обзор). — Прикладная биохимия и микробиология. 35(3): 257–274.
14. Закирова Р.П., Курбанова Э.Р., Ташпулатова Ф.Ш., Рахманбердиева Р.К., Асатова С.С. 2016. Использование растительного полисахарида в качестве стимулятора роста на хлопчатнике. — В сб.: Материалы международной научно-практической конференции “Современные тенденции развития аграрного комплекса”. С. Соленое Займище. С. 730.
15. Закирова Р.П., Асатова С.С., Ташпулатова Ф.Ш. 2018 г. Влияние галактоманнанов на развитие проростков *Cuscuta melo*. — В сб.: Материалы Международной научно-практической конференции “Воспроизводство плодородия почв и их рациональное использование”. Ижевск. С. 204–206.
16. Buckeridge M.S., Reid J.S.G. 1996. Major cell wall storage polysaccharides in legume seeds: Structure, catabolism and biological functions. — Ciencia e Cultura. 48(3): 153–162.
17. Рахманбердыева Р.К., Нигматуллаев А.М. 2003. Сезонная динамика содержания и состава углеводов в *Cardaria repens* (Schrenk) Jarm. — Раст. ресурсы. 39(1): 76–79. <https://elibrary.ru/item.asp?id=17080741>
18. Кодиралиева Ф., Рахманбердыева Р.К. 2011. Полисахариды *Crotalaria alata*. — Хим. природ. соедин. 1: 10–11.
19. Рахманбердыева Р.К., Талипова М., Газизов Ф., Рахимов Д.А. 2002. Углеводы и липиды семян *Gleditsia triacanthos*. — Хим. природ. соедин. 1: 19–21.
20. Билай В.И., Билай Т.И., Мусич Е.Г. 1982. Трансформация целлюлозы грибами. Киев. 296 с.
21. Красильников Н.А. 1966. Методы изучения почвенных микроорганизмов и их метаболитов. М. 216 с.
22. Кодиралиева Ф., Шапков А.С., Рахманбердыева Р.К. 2015. Строение галактоманнанов семян *Crotalaria alata*. — Хим. природ. соедин. 3: 355–358.

Polysaccharides of *Crotalaria alata* and *Gleditsia triacanthos* as Components of a Growth Medium for Cultivation of Microfungi

R. P. Zakirova^{a,*}, F. Kodiralieva^a, A. M. Hwan^a, R. K. Rakhmanberdieva^a

^aAcad. Yunusov Institute of Chemistry of the Plant Substances, AS RUz, Tashkent, Republic of Uzbekistan

*e-mail ranozakirova@mail.ru

Abstract—The study explores the possibility of using the seeds of *Crotalaria alata* L. and *Gleditsia triacanthos* L. (Fabaceae) as a growth medium stabilizer for cultivation of microfungi. A synergistic effect was achieved when agar-agar was combined with galactomannans from *Crotalaria alata* and *Gleditsia triacanthos*, in a ratio of 1.5 : 4 : 1. Such a composition made it possible to obtain a solid growth medium, similar in consistency and color to 2% agar-agar medium. To establish biological parameters of the developed medium, the spores of microfungi *Stachybotrys alternans* Bonord. (*Stachybotrys* Corda) и *Fusarium oxysporum* Schr f. *vasinfectum* Bilai (*Fusarium*), were plated on the surface of the growth media using inoculation needle and incubated in a thermostat at 25–26 °C. It was shown that partial substitution of agar-agar with galactomannans contributes to the active growth of the microorganisms. The growth of the *Stachybotrys alternans* and *Fusarium oxysporum* fungal colonies on the galactomannans growth medium surpassed the control on the fifth day by 37.2 and 31.5%, and on the seventh day — by 8.7 and 11.1% respectively.

Keywords: growth medium, agar-agar, galactomannan *Crotalaria alata*, galactomannan *Gleditsia triacanthos*, *Stachybotrys alternans*, *Fusarium oxysporum*, diameter of colonies

REFERENCES

1. Kizevetter I.V., Gruner V.S., Evtushenko V.A. 1967. [Processing of algae and other commercial aquatic plants]. Moscow. 416 p. (In Russian)
2. Lazykin A.G., Cherkasov N.A., Kovtun A.L., Rogozhin A.Z., Nesterov Ju.E., Kuznetsov V.G. <https://patents.google.com/patent/RU2129159C1/ru>
3. Kohlenbach H.W., Wernicke W. 1978. Investigations on the inhibitory effect of agar and the function of active carbon in anther culture. — Ztsch. Pflanzenphysiol. 86(5): 463–472. [https://doi.org/10.1016/S0044-328X\(78\)80292-X](https://doi.org/10.1016/S0044-328X(78)80292-X)
4. González M., Hernández I., Jouve N. 1997. Analysis of anther culture response in hexaploid triticale. — Plant Breed. 116(3): 302–304. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0523.1997.tb01003.x>
5. Halberg N., Olesen A., Tuvevsson K.D., Andersen S.B. 1990. Genotypes of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) with high anther-culture response through hybridization. — Plant Breed. 105(2): 89–94. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0523.1990.tb00459.x>
6. Finnie S.J., Powell W., Dyer A.F. 1989. The effect of carbohydrate composition and concentration on anther culture response in barley (*Hordeum vulgare* L.). — Plant Breed. 103(2): 110–118. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0523.1989.tb00358.x>
7. Sorvari S. 1986. The effect of starch gelatinized nutrient media in barley anther culture. — Ann. Agr. Fenn. 25: 127–133.
8. Belinskaya E.V., Dulnev P.G. 2007. Modified DKKmod starch as a nutrient medium component for obtaining barley haploids in anther culture. — Physiology and biochemistry of cultivated plants. 39(2): 136–143. (In Russian)
9. Nagori B.P., Mathur N.K. 1996. Preparation of galactomannans beads for pharmaceutical applications. — Indian J. Chem. Technol. 3(5): 279–281. <http://nopr.niscpr.res.in/handle/123456789/31042>
10. Edwards M., Reid J.S.G. 1995. Galactomannans and other cell wall storage polysaccharides in seeds. — In: Food Polysaccharides and their application. New York. P. 155–185.
11. Rakhmanberdyeva R.K., Rakhimov D.A., Vakhabov A.A., Khushbaktova Z.A., Syrov V.N. 2005. Galactomannans from *Gleditsia macracantha* seeds and its biological activity. — Chem. Nat. Compd. 41(1): 11–13. <https://doi.org/10.1007/s10600-005-0062-6>
12. Anulov O.V., Smirnova N.I., Mestechkina N.M., Shcherbukhin V.D. 1998. Content and composition of nonstarch water-soluble polysaccharides in seeds of some Fabaceae. — Russ. J. Plant Physiol. 45(6): 802–804.
13. Shcherbukhin V.D., Anulov O.V. 1999. Legume seed galactomannans (review). — Appl. Biochem. Microbiol. 35(3): 257–274. (In Russian)
14. Zakirova R.P., Kurbanova E.R., Tashpulatova F.Sh., Rakhmanberdyeva R.K., Asatova S.S. 2016. [Using plant polysaccharide as a growth stimulant in cotton]. — In: [Modern trends in the development of the agrarian complex: Proceedings of the International scientific and practical conference]. Solenoye Zaimishche. P. 730. (In Russian)
15. Zakirova R.P., Asatova S.S., Tashpulatova F.Sh. 2018. [Influence of galactomannans on the development of seedlings of *Cucumis melo*.] — In: [Proceedings of the International scientific and practical conference “Reproduction of soil fertility and their rational use”. Izhevsk. P. 204–206. (In Russian)
16. Buckeridge M.S., Reid J.S.G. 1996. Major cell wall storage polysaccharides in legume seeds: Structure, catabolism and biological functions. — Ciencia e Cultura. 48(3): 153–162.
17. Rakhmanberdyeva R.K., Nigmatullaev A.M. 2003. Seasonal dynamics content and composition of carbohydrates in *Cardaria repens* (Schrenk) Jarm. — Plant resources. 39(1): 76–79. <https://elibrary.ru/item.asp?id=17080741> (In Russian)
18. Kodiralieva F., Rakhmanberdyeva R.K. Polysaccharides from *Crotalaria alata*. 2011. — Chem. Nat. Compd. 47(1): 7–9. <https://doi.org/10.1007/s10600-011-9818-3>
19. Rakhmanberdyeva R.K., Talipova M., Gazizov F., Rakhimov D.A. 2002. Carbohydrates and lipids of *Gleditsia triacanthos* seeds. — Chem. Nat. Compd. 38(1): 24–26. <https://doi.org/10.1023/A:1015717328738>
20. Bilay V.I., Bilay T.I., Musich E.G. 1982. [Transformation of cellulose by fungi]. Kyiv. 296 p. (In Russian)
21. Krasilnikov N.A. 1966. [Methods for studying soil microorganisms and their metabolites]. Moscow. 216 p. (In Russian)
22. Kodiralieva F.A., Shashkov A.S., Rakhmanberdyeva R.K. 2015. Structure of galactomannan from seeds of *Crotalaria alata*. — Chem. Nat. Compd. 51(3): 405–408. <https://doi.org/10.1007/s10600-015-1303-y>

КОМПОНЕНТНЫЙ СОСТАВ РЕСУРСНЫХ ВИДОВ

БАДРАКЕМИН И ОСТОЛ В КОРНЯХ *FERULA PERSICA* (APIACEAE), ПРОИЗРАСТАЮЩЕЙ В АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ РЕСПУБЛИКЕ

© 2023 г. Э. Г. Керимли^{1, 2, *}, С. Дж. Ибадуллаева¹, А. Н. Алескерова¹

¹Институт ботаники Национальной АН Азербайджанской Республики, г. Баку, Азербайджан

²Азербайджанский медицинский университет, г. Баку, Азербайджан

*e-mail: kelyin83@list.ru

Поступила в редакцию 28.11.2022 г.

После доработки 12.04.2023 г.

Принята к публикации 30.05.2023 г.

Обнаружены новые местонахождения популяций ферулы персидской (*Ferula persica* Wild.) (Apiaceae) в Гобустанском, Сиазанском и Апшеронском р-нах Азербайджанской Республики. Из смолы корней *F. persica* выделены и идентифицированы кумариновые соединения остол и бадракемин. Бадракемин из изучаемого сырья получен впервые.

Ключевые слова: *Ferula persica*, остол, бадракемин, Азербайджанская Республика

DOI: 10.31857/S0033994623030093, **EDN:** SIJXRS

Род *Ferula* L. (Apiaceae) насчитывает 130 видов, распространенных на Кавказе, в Средней Азии, Сибири, Китае (Синьцзяне), Афганистане, Иране и Северной Африке. В Азербайджанской Республике встречается 8 видов этого рода [1]. Надземная и подземная части представителей рода *Ferula* характеризуются наличием эфирного масла, кумаринов и сесквитерпеновых лактонов [2]. Корни ферулы персидской *Ferula persica* Wild., содержащие ценные биологически активные вещества, являются перспективным растительным сырьем для разработки фитопрепаратов. Основной субстанцией для получения биологически активных веществ является смола, содержащаяся в корнях.

В научной литературе имеются сведения об идентификации и выделении из подземных органов *F. persica* четырех кумаринов (фарнезиферол А, фарнезиферон А, бадракемон, гуммозин), а из надземных — бадракемона, фарнезиферона А и фарнезиферола А. Подтверждена также конфигурация бадракемина и гуммозина [3, 4]. Из образцов *F. persica*, произрастающих в Азербайджане, выделены остол, ситостерин, L-чимгин, L-чимганин [5]. В состав эфирного масла *F. persica* входит 61 компонент, основными являются укроп-апиол (57.3%) и элемицин (5.6%) [6]. Из *F. persica* и *F. latisepta* выделены сесквитерпеновые кумарины и полисульфиды [7–9]. Из надземной части *F. persica* выделены лютеолин, апигенин, цинарозид, космосин [10]. Из корней *F. szovitsiana* получены умбеллиперин, гальбановая кислота, умбеллиферон, фарнезиферол С [11]. В плодах

F. caspica содержатся кумарины и сесквитерпены. Из корней *F. soongarica* получено эфирное масло (до 7.2%) [2].

Виды рода *Ferula* являются перспективным источником биологически активных веществ. Очищенный экстракт, а также сесквитерпеновые кумарины и полисульфиды, выделенные из *F. persica*, проявляют антибактериальную, противогрибковую, противолейшманиозную активность, оказывают цитотоксическое и химиопрофилактическое действие против некоторых видов рака и ингибирующее действие на липоксигеназу [9]. Разработана оптимальная технология получения суммы сложных эфиров и методика количественного определения ферулена из корней ферулы тонкорассеченной [12]. Водно-спиртовой экстракт *F. szovitsiana* эффективен для облегчения боли у крыс, поскольку воздействует на их опиоидные, каннабиноидные и аденозиновые рецепторы [13]. Установлено, что 75%-ный этанольный экстракт *F. persica*, содержащий свободные и связанные фенольные и флавоноидные соединения, проявляет высокую антиоксидантную активность и превосходит синтетические антиоксиданты, используемые в пищевой промышленности [14]. Показано, что синтезированные с использованием эфирного масла камеди *F. persica* в качестве восстановителя и стабилизатора наночастицы золота, проявляют цитотоксическое, апоптотическое и антипролиферативное действие *in vitro* в отношении клеток карциномы толстой кишки мыши (СТ26) [15].



Рис. 1. Места произрастания *Ferula persica* в Азербайджанской Республике.

Fig. 1. Distribution areas of *Ferula persica* in the Republic of Azerbaijan.

Примечание: местонахождения, их географические координаты и высота над уровнем моря. Notes: locations, their coordinates (C – North; B – East) and elevation above mean sea level, m (M).

- 1 – Пирекешкюль/Pirekeshkul – 40°33'45.04" N 49°31'33.17" E; 48 м
- 2 – Бешбармаг/Beshbarmaq – 41°04'00.77" N 49°07'25.93" E; 330 м
- 3 – Джанги/Dzhanghi – 40°30'03.04" N 49°15'33.11" E; 356 м
- 4 – Гюздек/Gyuzdek – 40°21'20.42" N 49°33'32.92" E; 72 м
- 5 – гора Боянат/mt. Batyanata – 40°25'57.67" N 49°18'25.11" E; 211 м
- 6 – Джейранкечмез/Dzheyrankechmaz – 40°28'42.37" N 49°01'32.87" E; 583 м
- 7 – Мараз/ Maraza – 40°32'00.04" N 48°55'30.15" E; 760 м
- 8 – Ханаб/ Khanabad – 39°58'02.48" N 46°48'60.60" E; 673 м

Цель настоящего исследования – выявить новые местонахождения *F. persica* в пределах Азербайджанской Республики для сбора сырья и изучить компонентный состав смолы корней исследуемого вида.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Ферула персидская – многолетнее травянистое растение. Согласно данным гербарного фонда Института ботаники АН Азербайджанской Республики, на исследуемой территории *F. persica* встречается на Апшероне, Гобустане и редко в Нахичевани. Предпочитает сухие глинистые и каменистые места в нижнем горном поясе. Мы провели ресурсно-рекогносцировочный маршрут по административному району Гобустан (рис. 1). Маршрут пролегал через населенные пункты Джанги, Джейранкечмез и окрестности Гобустанского государственного историко-художественного заповедника. Корни *F. persica* для изучения заготавливали в окрестности с. Джанги Гобу-

станского р-на в фазе полного созревания семян (20.07.2021).

Экстракцию высушенных и измельченных корней (2 кг) проводили трижды этанолом (≥99% Merck KGaA, EMD Millipore Corporation); продолжительность каждой экстракции – 72 ч. Получено 146 г суммы экстрактивных веществ (выход – 7.3% от массы сырья), из которых 60 г подвергали хроматографическому разделению на колонке с нейтральной окисью алюминия II степени. Объем собранных фракций составлял 150 мл. Элюирование проводилось гексаном (20 фракций), смесью гексана и бензола (51 фракция), бензолом (44 фракций), смесью бензола с этилацетатом (30 фракций), этилацетатом (15 фракций) и смесью этилацетата с этиловым спиртом (8 фракций).

Индивидуальность выделенных соединений определяли на пластинках “Silufol UV-254”, температуру плавления – на приборе Stuart SMP10. Для проявления пластинок использовали пары йода, УФ-свет при 254 нм и 365 нм. УФ-спектры регистрировали на спектрофотометре “Varian

Таблица 1. Химические сдвиги ^1H (300 МГц) и ^{13}C (75 МГц) ЯМР соединения 1 (CDCl_3 , м. д., J/Гц) и данные эксперимента HMQC, HSQC**Table 1.** ^1H (300 MHz) and ^{13}C (75 MHz) NMR chemical shifts of compound 1 (CDCl_3 , ppm, J/ Hz) and HMQC, HSQC experimental data

Атом C Atom C	HMQC, HSQC		Атом C Atom C	HMQC, HSQC	
	δ_{C} , м. д. δ_{C} , ppm	δ_{H} , м. д.; J/Гц δ_{H} , ppm; J/Hz		δ_{C} , м. д. δ_{C} , ppm	δ_{H} , м. д.; J/Гц δ_{H} , ppm; J/Hz
2	161.43 (C=O)		9	112.97 (с)	
3	112.97 (д)	6.25 (1H, д, J = 9.6)	10	132.66 (с)	
4	143.80 (д)	7.63 (1H, д, J = 9.6)	1'	21.92 (т)	3.55 (2H, д, J = 7.2)
5	126.23 (д)	7.31 (1H, д, J = 8.7)	2'	121.12 (д)	5.25 (1H, т, J ₁ = J ₂ = 7.3)
6	107.35 (д)	6.85 (1H, д, J = 8.7)	3'	152.80 (с)	
7	160.21 (с)	—	4'	17.94 (к)	1.84 (3H, с)
8	117.93 (с)	—	5'	25.81 (к)	1.67 (3H, с)
			6'-OCH ₃	56.05 (к)	3.92 (3H, с)

этом положении из-за сопряжения с C=O-группой α -пиронового цикла электронная плотность меньше, чем в 6-положении [16]. Синглетный сигнал с площадью 3H и химическим сдвигом δ_{H} 3.92 в спектре свидетельствует о наличии в структуре вещества метоксигруппы (OCH₃). Это указывает на то, что соединение представляет собой 7,8-замещенный кумарин.

В ^{13}C ЯМР-спектре, снятом с полным подавлением спин-спинового взаимодействия с протонами, обнаруживаются 15 синглетных сигналов, что соответствует числу атомов углерода в элементарном составе соединения.

В HMBSC спектре H-3 с C-2, H-4 с C-2, H-5 с C-7, H-6 с C-8, H-1' с C-10, H-2' с C-5', C-10, H-4' с C-2', H-5' с C-2', H-6' с C-7 дают корреляцию (рис. 2).

Для определения корреляции близких взаимодействий сигналов протона и атома углерода, соединений использовали двумерные спектры HSQC и HMQC (табл. 1).

Анализ полученных спектральных данных позволяет сделать вывод, что исследуемое соединение 1 имеет строение, идентичное остолу [17].

Вещество 2. Из фракций 40–45, при элюировании смесью гексана и бензола (в соотношении 1 : 1), получили белое кристаллическое вещество состава $\text{C}_{24}\text{H}_{30}\text{O}_4$, т. пл. 198–199 °C (из этанола).

В ИК-спектре вещества найдены полосы поглощения (ν_{max} см⁻¹) 3600 (ОН-группа), 1725 (СО- δ -лактонного цикла), 1650, 1615, 1557, 1508 см⁻¹ (ароматическое ядро). В слабом магнитном поле ^1H ЯМР спектре сигналы ядра кумарина, площадь каждого равна 1 протонной единице, обнаруживается в интервале δ_{H} 6.26–7.64 м. д. Нали-

чие пятипротонного сигнала указывает на 7-оксизамещенный кумарин. В сильном магнитном поле спектра обнаруживаются δ_{H} 0.88, 0.93, 1.00 синглетные сигналы метильных групп площадью равной 3H единицам, которые относятся к C₄' и C₁₀' соответственно. Два синглетных сигнала в области δ_{H} 4.54 и 4.90 м. д. спектра указывают на присутствие в соединении экзометиленовой группы. В центре двухпротонный δ_{H} 4.21 м. д. мультиплетный сигнал указывает на то, что кумариновое ядро связано с терпеноидной частью группой (CH₂O-). Обнаруженный в спектре уширенный синглетный сигнал 3.49 м. д. характеризует протон гидроксильной (H—C—OH) группы.

^{13}C ЯМР-спектр, снятый с полным подавлением спин-спинового взаимодействия с протонами обнаруживает 24 синглетных сигнала, что соответствует числу атомов углерода в соединении. Для определения количества метильных, метиленовых, метиновых групп протонированных атомов углерода использовали спектр ^{13}C DEPT 135.

В спектре HMBSC H-3 с C-9, H-4 с C-9, C-2, H-5 с C-9, C-7, H-6 с C-8, C-9, H-13 с C-3', H-14 с C-3', H-15 с C-10, также химический сдвиг протона экзометиленовой группы δ_{H} 4.54 и 4.90 м. д. коррелирует с атомами углерода δ_{C} 54.70 (C-9), δ_{C} 37.54 (C-7') и δ_{C} 37.74 (C-4') (рис. 2.). Данные спектров ЯМР и HSQC корреляции этого соединения представлены в табл. 2.

На основании физико-химических и спектральных литературных данных [4, 18] соединение идентифицировали как сесквитерпеновый кумарин — бадракемин.

Таблица 2. Химические сдвиги ^1H (300 МГц) и ^{13}C (75 МГц) ЯМР (CDCl_3 , м. д., J/Гц) соединений 2 и данные эксперимента HSQC**Table 2.** ^1H (300 MHz) and ^{13}C (75 MHz) NMR chemical shifts of compound 2 (CDCl_3 , ppm, J/Hz) and HSQC experimental data

HSQC					
Атом C Atom C	δ_{C} , м. д. δ_{C} , ppm	δ_{H} , м. д.; J/Гц δ_{H} , ppm; J/Hz	Атом C Atom C	δ_{C} , м. д. δ_{C} , ppm	δ_{H} , м. д.; J/Гц δ_{H} , ppm; J/Hz
2	161.33 (–C=O)		4'	37.74 (–C–)	
3	112.91 (–CH=)	6.25 (1H, д, J = 9.6)	5'	48.10 (–CH–)	1.70 (1H, м)
4	143.53 (–CH=)	7.64 (1H, д, J = 9.3)	6'	23.44 (–CH ₂ –)	2.14 (1H, м) 1.70 (1H, м)
5	128.73 (–CH=)	7.36 (1H, д, J = 8.7)	7'	37.54 (–CH ₂ –)	2.45 (1H, уш. д, J = 12) 2.15 (1H, м)
6	113.22 (–CH=)	6.85 (1H, к, J _{ал} = 2.4)	8'	146.74 (>C=)	
7	162.35 (>C=)		9'	54.70 (–CH–)	2.34 (1H, уш. с.)
8	101.35 (–CH=)	6.82 (1H, с)	10'	38.81 (–C–)	
9	155.90 (>C=)		11	65.71 (–CH ₂ O–)	4.21 (2H, м)
10	112.40 (>C=)		12	107.59 (CH ₂ =)	4.54 (1H, с) 4.91 (1H, с)
1'	31.80 (–CH ₂ –)	1.50 (1H, м) 1.80 (1H, м)	13'	22.37 (–CH ₃)	0.93 (3H, с)
2'	25.76 (–CH ₂ –)	2.14 (1H, м) 1.70 (1H, м)	14'	28.60 (–CH ₃)	1.00 (3H, с)
3'	75.74 (–CH–)	3.49 (1H, уш. с) 1.98 (уш. с, OH)	15'	15.29 (–CH ₃)	0.88 (3H, с)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных маршрутных исследований, в Гобустанском, Сиазанском и Апшеронском р-нах Азербайджанской Республики обнаружены новые местонахождения ферулы персидской (*Ferula persica* Wild.), в корнях которой содержится смола, являющаяся источником ценных биологически активных веществ. Из этанольного экстракта корней *F. persica* путем препаративной колоночной хроматографии получены два вещества кумариновой природы, которые по

результатам спектроскопического анализа идентифицированы как бадракемин и остол. Бадракемин из растительного сырья (корней) *F. persica* получен впервые.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Выражаем благодарность администрации Института нефтехимических процессов им. Ю.Г. Мамедалиева НАН Азербайджана за возможность использования спектроскопических приборов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Флора Азербайджана*. 1955. Баку. Т. 6. С. 478–483.
2. *Дикорастущие полезные растения России*. 2001. СПб. 663 с.
3. *Iranshahi M., Amin Gh., Shafiee A.* 2004. A new coumarin from *Ferula persica*. – *Pharm. Biol.* 42(6): 440–442. <https://doi.org/10.1080/13880200490886102>
4. *Саиджоджаев А.И., Никонов Г.К.* 1974. Подтверждение конфигурации бадракемина и гуммозина. – *Хим. природ. соедин.* 1: 15–18.
5. *Kerimov Yu.B., Abyshev A.Z., Serkerov S.V., Isaev D.I., Bairamov P.B.* 1992. Phenol derivatives from the roots of *Ferula persica*. – *Chem. Nat. Compd.* 28(5): 506. <https://doi.org/10.1007/BF00630666>

6. Javidnia K., Miri R., Kamalinejad M., Edraki N. 2005. Chemical composition of *Ferula persica* Wild. essential oil from Iran. — Flavor Fragr. J. 20(6): 605–606.
<https://doi.org/10.1002/ffj.1496>
7. Iranshahi M., Amin Gh.R., Amini M., Shafiee A. 2003. Sulfur containing compounds from *Feurla persica* var. *latisecta*. — Phytochemistry 63(8): 965–966.
[https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(03\)00296-6](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(03)00296-6)
8. Iranshahi M., Noroozi S., Behravan J., Karimi Gh., Schneider B. 2009. Persicasulphide C, a new sulphur-containing derivative from *Ferula persica*. — Nat. Prod. Res. 23(17): 1584–1588.
<https://doi.org/10.1080/14786410802393571>
9. Sattar Z., Iranshahi M. 2017. Phytochemistry and pharmacology of *Ferula persica* Boiss.: A review. — Iran J. Basic. Med. Sci. 20(1): 1–8.
<https://doi.org/10.22038/ijbms.2017.8085>
10. Стецков В.В., Луговской А.И., Баньковский А.И., Пакалн Д.Н. 1980. *Ferula persica* flavonoids. — Хим. природ. со-един. 3: 415.
11. Багиров Ю.В., Гасанова Р.Ю., Бурма О.И., Баньковский А.И. 1977. Кумарины *Ferulas zovitsiana* и *F. persica*. — Хим. природ. соедин. 2: 279–280.
12. Халилов Р.М., Маматханов А.У., Котенко Л.Д. 2009. Технология выделения экстрогенного препарата Ферулен из корней ферулы тонкорассеченной. — Химико-фарм. журн. 43(10): 40–43.
<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23152542>
13. Rabani N., Tehranipour M., Mahdavi Shahri N. 2018. Effect of hydroalcoholic extract of *Ferula persica* resin on induced rheumatoid arthritis by Freund's complete adjuvant in rat. — J. Gorgan Univ. Med. Sci. 20(3): 24–30.
<http://goums.ac.ir/journal/article-1-3452-en.html>
14. Taghinia P., Haddad Khodaparast M.H., Ahmadi M. Free and bound phenolic and flavonoid compounds of *Ferula persica* obtained by different extraction methods and their antioxidant effects on stabilization of soybean oil. — J. Food Meas. Charact. 13(4): 2980–2987.
<https://doi.org/10.1007/s11694-019-00218-0>
15. Hosseinzadeh N., Shomali T., Hosseinzadeh S., Raouf Fard F., Pourmontaseri M., Fazeli M. 2020. Green synthesis of gold nanoparticles by using *Ferula persica* Willd. gum essential oil: production, characterization and *in vitro* anti-cancer effects. — J. Pharm. Pharmacol. 72(8): 1013–1025.
<https://doi.org/10.1111/jphp.13274>
16. Кузнецова Г.А. 1967. Природные кумарины и фурукумарины. М. 244 с.
17. Серкерев С.В., Алескерова А.Н. 2006. Инфракрасные спектры и строение сесквитерпеновых лактонов и кумаринов. Баку. 223 с.
18. Asghari J., Atabaki V., Baher E., Mazaheritehrani M. 2016. Identification of sesquiterpene coumarins of oleo-gum resin of *Ferula assa-foetida* L. from the Yasuj region. — Nat. Prod. Res. 30(3): 350–353.
<https://doi.org/10.1080/14786419.2015.1050669>

Badrakemin and Ostol in the Roots of *Ferula persica* (Apiaceae) Growing in Azerbaijan

E. G. Kerimli^{a, b, *}, S. J. Ibadullayeva^a, A. N. Aleskerova^a

^a*Institute of Botany of the National Academy of Sciences of the Republic of Azerbaijan, Baku, Azerbaijan*

^b*Azerbaijan Medical University, Baku, Azerbaijan*

^{*}*e-mail: kelvin83@list.ru*

Abstract—New localities of *Ferula persica* Wild. (Apiaceae) populations in the Gobustan, Siazan and Absher-on regions of the Azerbaijan were found. The coumarin compounds osthole and badrakemin were isolated and identified from the resin of *F. persica* roots. Badrakemin was obtained from the studied raw materials for the first time.

Keywords: *Ferula persica*, osthole, badrakemin, Gobustan, Azerbaijan

ACKNOWLEDGEMENTS

We express our gratitude to the administration of the Institute of Petrochemical Processes named after Yu.G. Mammadaliyev of the National Academy of Sciences of Azerbaijan for the possibility of using spectroscopic instruments.

REFERENCES

1. [Flora of Azerbaijan]. 1955. Baku. V. 6. P. 478–483. (In Russian)
2. [Wild useful plants of Russia]. 2001. St. Petersburg. 663 p. (In Russian)
3. *Iranshahi M., Amin Gh., Shafiee A.* 2004. A new coumarin from *Ferula persica*. – Pharm. Biol. 42(6): 440–442. <https://doi.org/10.1080/13880200490886102>
4. *Saidzhodzhaev A.I., Nikonov G.K.* 1974. Conformation of the configuration of badrakemin and gummosin. – Chem. Nat. Copmd. 10(1): 12–14. <https://doi.org/10.1007/BF00568210>
5. *Kerimov Yu.B., Alyshev A.Z., Serkerov S.V., Isaev D.I., Bairamov P.B.* 1992. Phenol derivatives from the roots of *Ferula persica*. – Chem. Nat. Compd. 28(5): 506. <https://doi.org/10.1007/BF00630666>
6. *Javidnia K., Miri R., Kamalinejad M., Edraki N.* 2005. Chemical composition of *Ferula persica* Wild. essential oil from Iran. – Flavor Fragr. J. 20(6): 605–606. <https://doi.org/10.1002/ffj.1496>
7. *Iranshahi M., Amin Gh.R., Amini M., Shafiee A.* 2003. Sulfur containing compounds from *Ferula persica* var. *latisecta*. – Phytochemistry 63(8): 965–966. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(03\)00296-6](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(03)00296-6)
8. *Iranshahi M., Noroozi S., Behravan J., Karimi Gh., Schneider B.* 2009. Persicasulphide C, a new sulphur-containing derivative from *Ferula persica*. – Nat. Prod. Res. 23(17): 1584–1588. <https://doi.org/10.1080/14786410802393571>
9. *Sattar Z., Iranshahi M.* 2017. Phytochemistry and pharmacology of *Ferula persica* Boiss.: A review. – Iran J Basic Med Sci. 20(1): 1–8. <https://doi.org/10.22038/ijbms.2017.8085>
10. *Stetskov V.V., Lugovskoy A.I., Bankovsky A.I., Pakaln D.N.* 1980. *Ferula persica* flavonoids. – Khimiya Prirodnikh Soedineniy. 3: 415. (In Russian)
11. *Bagirov Yu.V., Gasanova R.Yu., Burma O.I., Ban'kovskii A.I.* 1977. Coumarins of *Ferula szovitsiana* and *F. persica*. – Chem. Nat. Compd. 13(2): 240–241. <https://doi.org/10.1007/BF00563961>
12. *Khalilov R.M., Mamatkhanov A.U., Kotenko L.D.* 2009. Technology for isolating estrogen preparation Ferulen from *Ferula tenuisecta* roots. – Pharm. Chem. J. 43(10): 575–578. <https://doi.org/10.1007/s11094-010-0353-5>
13. *Rabani N., Tehranipour M., Mahdavi Shahri N.* 2018. Effect of hydroalcoholic extract of *Ferula persica* resin on induced rheumatoid arthritis by Freund's complete adjuvant in rat. – J. Gorgan Univ. Med. Sci. 20(3): 24–30. <http://goums.ac.ir/journal/article-1-3452-en.html>
14. *Taghinia P., Haddad Khodaparast M.H., Ahmadi M.* Free and bound phenolic and flavonoid compounds of *Ferula persica* obtained by different extraction methods and their antioxidant effects on stabilization of soybean oil. – J. Food Meas. Charact. 13(4): 2980–2987. <https://doi.org/10.1007/s11694-019-00218-0>
15. *Hosseinzadeh N., Shomali T., Hosseinzadeh S., Raouf Fard F., Pourmontaseri M., Fazeli M.* 2020. Green synthesis of gold nanoparticles by using *Ferula persica* Willd. gum essential oil: production, characterization and *in vitro* anti-cancer effects. – J. Pharm. Pharmacol. 72(8): 1013–1025. <https://doi.org/10.1111/jphp.13274>
16. *Kuznetsova G.A.* 1967. Natural coumarins and furocoumarins. Moscow. 244 p. (In Russian)
17. *Serkerov S.V., Aleskerova A.N.* 2006. Infrared spectra and structure of sesquiterpene lactones and coumarins. Baku. 223 p. (In Russian)
18. *Asghari J., Atabaki V., Baher E., Mazaheritehrani M.* 2016. Identification of sesquiterpene coumarins of oleo-gum resin of *Ferula assa-foetida* L. from the Yasuj region. – Nat. Prod. Res. 30(3): 350–353. <https://doi.org/10.1080/14786419.2015.1050669>

КОМПОНЕНТНЫЙ СОСТАВ РЕСУРСНЫХ ВИДОВ

PHYTOCHEMICAL FEATURES OF *MALABAILA DASYANTHA* (APIACEAE) AERIAL PARTS

© 2023 г. Husniya Mammadova Gara*

Department of Chemistry and Biology, Sumgait State University, Sumgait City, Azerbaijan

*e-mail: husniyamammadova63@gmail.com

Received May 16, 2023;

Revised May 18, 2023;

Accepted June 14, 2023

Malabaila dasyantha (C. Koch) Grossh (Apiaceae) is one of the species widely used in folk medicine. However, scientific research of this species has not been carried out, and almost no information on it is found in academic scientific databases. The new distribution areas of *M. dasyantha* were discovered in Gadabay district, Azerbaijan. It was determined that the plant belongs to the xerophytic ecological group. The chemical composition of the species was studied, focusing on the isolation and elucidation of phytochemical structures. The aerial parts of *Malabaila dasyantha* were finely cut and dried at ambient conditions. The mixture of extractive substances was obtained through three consecutive extractions with acetone, each 3 days long. The resulting acetone was filtered and evaporated on a water bath, resulting in a yellow resin with a 7% yield. The resin was then dissolved in CHCl_3 and chromatographed over a column of neutral Al_2O_3 with elution by hexane, hexane + benzene, benzene, benzene + chloroform, chloroform, and chloroform + ethanol, in different ratios. Each fraction had a volume of 100 mL, and the separation and isolation process was carried out using column (silica gel) and thin-layer chromatographic methods. The structural elucidation of the purified compounds was based on infrared spectroscopy, ultraviolet, ^1H and ^{13}C -NMR data, and compared with those previously reported in the literature. The isolated compounds from the acetone extracts of *M. dasyantha* were identified as scopoletin (4.3%), oxypencedanin (2.6%), isoimperatorin (3.5%), and columbianetin (2.5%). These findings may have potential applications in the fields of medicine and pharmacology. Further studies are needed to fully explore the potential of these compounds and their therapeutic properties.

Keywords: *Malabaila dasyantha*, Apiaceae, distribution areas, phytochemicals, bioactive compounds, Azerbaijan

DOI: 10.31857/S0033994623030032, **EDN:** RSYDPM

Apiaceae is a large family, composed of more than 3700 species belonging to 434 genera all around the world [1, 2]. In Azerbaijan, 187 species from 76 genera have been identified. They are distributed in both plains and mountains [3]. One of these genera is *Malabaila* Hoffm., which belongs to the Umbelliferae family and was described in 1814. The Plant List includes 78 scientific plant names of species rank for the genus *Malabaila* [4]. The Umbelliferae (or Apiaceae) family has a cosmopolitan spreading, but most of Apiaceae taxa are confined to northern temperate regions, and high altitudes in the tropical regions [5]. The *Malabaila* genus is represented by 10 species in the Mediterranean region, Central Asia, Iran, and the Caucasus [6]. Chemical constituents found in the

Apiaceae family include volatile oils, coumarins, acet-ylenes and flavonoids, while terpenes, sesquiterpenes and alkaloids are rare [7].

Two species of *Malabaila* (Apiaceae) genus are known to grow in Azerbaijan: *Malabaila dasyantha* (C. Koch) Boiss. (fig. 1) and *Malabaila sulucata* (C. Koch) A. Grossh [6]. These species differ in stem shape and the number of umbel rays [8]. The distribution of phyto-geographic elements is Irano-Turanian (*M. dasyantha*) [8]. *M. dasyantha* is used in folk medicine for nail disorders and to treat hemorrhoids [8–10]. Our findings show that in Azerbaijan this species has a resource potential in a small area of the middle mountain range of Gadabay region, among grasses of rocky areas. The species has a small area of distribution in few biogeographic areas due to its sensitivity to changing environmental conditions (low temperature) and belongs to the xerophytic ecological group. One of the main features of the plant is that it is drought tolerant due to the proper management of water transport: this feature is

List of abbreviations. TLC: Thin layer chromatography; IR: Infrared Spectroscopy; UV: Ultraviolet; NMR: Nuclear Magnetic Resonance; ^1H NMR: Proton nuclear magnetic resonance; DMSO: Dimethyl sulfoxide; ^{13}C NMR: Carbon-13 nuclear magnetic resonance.



Fig. 1. *Malabaila dasyantha* (C. Koch) Grossh flowering phase (June 10) and seed formation phase (July 15).

associated with the cytoplasm properties and distinguishes it from other groups of [11]. We observed that water deficiency causes morphological changes, including smaller leaf blades and poor growth of the plant. Under sufficient water supply, leaves are elastic, and the growth of the plant is fast, indicating that *M. dasyantha* is not an arid but a drought-tolerant xerophytic plant. Over time, due to changes in environmental conditions, the plant can expand or reduce its distribution area. Our investigation further indicates that this plant has a specific areal type, and the species has an appearance and features reflecting its adaptation to ecological conditions.

The study is aimed to determine new distribution areas and chemical composition of *M. dasyantha* species.

MATERIAL AND METHODS

Malabaila dasyantha specimens were collected in Gadabay district of Azerbaijan on July 15, 2021, processed for herbarium, and identified using Herbarium Foundation of the Institute of Botany of the Azerbaijan National Academy of Sciences.

A total of 300 g of dried aerial parts of *M. dasyantha*, which were collected at flowering phase, were subjected to three successive extractions with acetone, each 3 days long, resulting in the procurement of 10 g

of compounds. The column chromatography was employed to obtain separated fractions of compounds. The Al_2O_3 column ($h = 80$; $d = 2.5$ cm) was used for chromatography of the extract. The fractions of 100 mL volume were eluted with hexane (30 fractions), hexane + benzene (40 fractions), benzene (43 fractions), benzene + chloroform (27 fractions), chloroform (10 fractions), and chloroform + ethanol (95 : 5). The thin-layer chromatography (Silifol UV 254, solvent – benzene + chloroform, 1 : 1) was executed to determine the mixture of components. The IR spectra of the substances were recorded using an “Agilent Cary 630 FT, R” spectrophotometer. The chemical structures of the substances were determined by detecting their NMR spectra. The melting temperatures of the obtained substances were determined by utilizing the Boethius table. The substance determination was based on the IR, ^1H , and ^{13}C NMR information on the structure of the individual compounds provided in literature [12].

RESULTS AND DISCUSSION

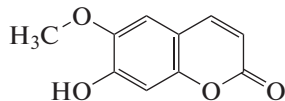
The acetone extraction resulted in the procurement of four individual substances (skopoletin 4.3%, oxypencedanin 2.6%, isoimperatorin 3.5%, and columbianetin 2.5%).

Table 1. Scopoletin infrared (IR) and ultraviolet (UV) spectra and melting temperature

IR-spectrum, ν , cm^{-1}	UV-spectrum, nm (lg ϵ)	Melting point, $^{\circ}\text{C}$
$\nu_{\max}$ 1710 (CO- δ -lactone cycle), 1631, 1613, 1570, 1520 (C=C aromatic cycle)	$\lambda_{\max}$ 229 (4.20), 254 (3.72), 298 (3.77), 346 (4.12)	204.0–205.0

Table 2. ^1H NMR and ^{13}C NMR chemical shift values of scopoletin recorded in CDCl_3

^{13}C NMR		
1–C	C	160
2–C	CH	149.4
3–C	CH	144.4
4–C	CH	111.6
5–C	CH	145
6–C	CH	110.4
7–C	C	102.7
8–C	C	151
9–C	C	109.5
10–C	C	55.94
1. Scopoletin – $\text{C}_{10}\text{H}_8\text{O}_4$		



^1H -NMR (CDCl_3 300 MHz) δ : 10.32 (s, 1H), 7.91 (d, $J = 9.3$ Hz, 1H), 7.22 (s, 1H), 6.78 (s, 1H), 6.23 (d, $J = 9.3$ Hz, 1H), 3.82 (s, 3H).

The chemical shifts (δ values) indicate the relative electron density and shielding of each carbon atom. For example, the carbonyl carbon (C=O) at position 1 has the highest chemical shift at 160 ppm, while the aromatic carbons (C=C) at positions 2–6 have chemical shifts in the range of 110–145 ppm.

The ^1H NMR spectrum provides information about the hydrogen atoms in the molecule and their chemical environment. The spectrum shows six peaks, each corresponding to a different type of hydrogen atom in the molecule. The chemical shifts (δ values) indicate the relative electron density and shielding of each hydrogen atom. For example, the hydrogen atom on the carbonyl group at position 1 appears as a singlet (s) at a chemical shift of 10.32 ppm, while the hydrogen atoms on the aromatic rings appear as singlets or doublets (d) at chemical shifts in the range of 6.23–7.91 ppm.

The scopoletin is an organic compound containing an aromatic ring and a lactone ring, which are confirmed by the ^{13}C NMR spectrum. The ^1H NMR spectrum confirms the presence of hydrogen atoms in the aromatic and lactone rings, as well as a methyl group (CH_3) at a chemical shift of 3.82 ppm (table 2).

Substance – 1 (Scopoletin)

The IR spectrum shows strong absorption bands at $\nu = 1710 \text{ cm}^{-1}$, which are assigned to the CO- δ -lactone cycle. In addition, the IR spectrum also shows characteristic absorption bands at 1631, 1613, 1570, and 1520 cm^{-1} , which can be attributed to the C=C aromatic cycle. The UV spectrum of the compound displays four distinct peaks at $\lambda_{\max}$ 229, 254, 298, and 346 nm with lg ϵ (logarithm of the molar extinction coefficient) values ranging from 3.72 to 4.20. The strongest absorption is observed at $\lambda_{\max}$ 229 nm with lg ϵ 4.20, while the weakest is observed at $\lambda_{\max}$ 298 nm with lg ϵ 3.77. The presence of these absorption peaks in the UV spectrum indicates the presence of conjugated π -electron systems in the compound (Table 1).

The ^{13}C NMR spectrum shows 10 peaks, each corresponding to a different carbon atom in the molecule.

Substance – 2 (Oxypeucedanin)

In the IR spectrum, several characteristic peaks are observed, including a strong peak at 1703 cm^{-1} corresponding to the carbonyl group in a δ -lactone ring, and four peaks in the range of 1554 – 1618 cm^{-1} corresponding to the aromatic C=C bond. These peaks provide information on the functional groups and molecular structure of the compound. In the UV spectrum, four peaks are observed, with maximum absorption occurring at wavelengths of 220, 249, 266, and 306 nm. The lg ϵ values indicate the intensity of absorption at each peak, with higher values indicating greater absorption (Table 3).

In the provided ^{13}C NMR spectrum, we observed the chemical shift of 16 carbon atoms in an unknown molecule. The chemical shift is related to the electron density around each carbon atom, which is influenced

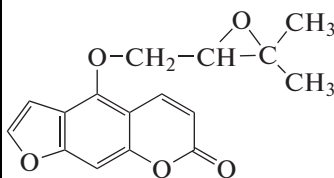
Table 3. Oxypeucedanin infrared (IR) and ultraviolet (UV) spectra and melting temperature

IR-spectrum, ν , cm^{-1}	UV-spectrum, nm (lg ϵ)	Melting point, $^{\circ}\text{C}$
$\nu_{\max}$ 1703 (CO- δ -lactone cycle), 1618, 1603, 1575, 1554 (C=C aromatic cycle)	$\lambda_{\max}$ 220 (4.02), 249 (4.03), 266 (4.02), 306 (3.97)	137.0–138.0

Table 4. ^1H NMR and ^{13}C NMR chemical shift values of oxypeucedanin recorded in CDCl_3

^{13}C NMR		
1-C	C	25.00
2-C	CH	27.00
3-C	CH	30.00
4-C	CH	71.00
5-C	CH	74.00
6-C	CH	94.00
7-C	C	99.00
8-C	C	104.00
9-C	C	108.00
10-C	C	111.50
11-C	C	112.00
12-C	C	119.00
13-C	C	133.00
14-C	C	139.00
15-C	C	145.00
16-C	C	161.00

2. Oxypeucedanin –
 $\text{C}_{16}\text{H}_{16}\text{O}_6$



^1H NMR: 6.30 (d., $J = 9.65$ Hz, 1H, H-3), 8.20 (d., $J = 9.65$ Hz, 1H H-4), 7.30 (s., 1H, H-8), 7.00 (d., $J = 2.30$ Hz, 1H, H-3'), 7.60 m. h. (d., $J = 2.30$ Hz, 1H, H-2')

by the atoms and groups surrounding it. By analyzing the chemical shift values, we can infer the type of carbon atoms and their neighboring functional groups in the molecule.

The ^{13}C NMR spectrum reveals the presence of an aromatic ring system in the molecule. Carbon atoms 1–6 show a distinct pattern of chemical shifts between 25 and 94 ppm, consistent with sp^2 hybridized carbons in an aromatic ring. Additionally, there are 11 aliphatic hydrocarbons present in the molecule showing chemical shifts between 99 and 161 ppm.

The provided ^1H NMR spectrum of oxypeucedanin, a molecule with the molecular formula $\text{C}_{16}\text{H}_{16}\text{O}_6$, further confirms the presence of an aromatic ring system. The proton chemical shifts indicate the presence of five aromatic protons, with chemical shifts at 6.3 ppm (H-3) and 8.2 ppm (H-4) appearing as doublets with a coupling constant of 9.65 Hz, and a singlet at 7.3 ppm (H-8). In addition, the proton chemical shifts at 7.0 ppm (H-3') and 7.6 ppm (H-2') suggest the presence of two meta-coupled aromatic protons (table 4).

Substance – 3 (Isoimperatorin)

The compound has a δ -lactone cycle and an aromatic cycle as evident from its IR spectrum with absorption peaks at 1729 and 1547 cm^{-1} for CO- δ -lactone and 1580 and 1610 cm^{-1} for C=C aromatic cycle.

The UV spectrum of isoimperatorin shows absorption peaks at λ_{max} 222, 250, 259, 268 and 310 nm, indicating the presence of conjugated pi-electron system in the compound (Table 5).

The ^1H NMR spectrum of isoimperatorin shows singlet peaks at 6.30 and 8.15 ppm with a coupling constant of 9.65 Hz and a singlet peak at 7.35 ppm, indicating the presence of aromatic protons. The spectrum also shows doublet peaks at 8.00 and 7.60 ppm with a coupling constant of 2.10 Hz, suggesting the presence of a vicinal pair of protons.

The ^{13}C NMR spectrum of isoimperatorin shows 16 carbon signals with the corresponding chemical shift values, which indicate the presence of various types of carbon atoms, such as CH, C, and CO- δ -lactone carbon atoms.

Overall, the given data suggest that isoimperatorin is a compound with a complex structure that contains an aromatic ring, a δ -lactone cycle, and a conjugated pi-electron system (Table 6).

Substance – 4 (Columbianetin)

The IR spectrum shows absorption bands at 3408 (OH-group), 1716 (CO- δ -lactone), and 1619 and 1580 cm^{-1} (C=C aromatic cycle), indicating the presence of an OH group, a lactone group, and an aromatic ring. The UV spectrum shows absorption peaks at 220 ($\lg \epsilon$ 4.08), 252 ($\lg \epsilon$ 3.52), 262 ($\lg \epsilon$ 3.55), 300 ($\lg \epsilon$ 3.83), and 327 nm ($\lg \epsilon$ 4.18) (Table 7).

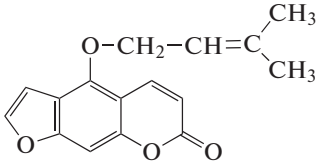
Table 5. Isoimperatorin infrared (IR) and ultraviolet (UV) spectra and melting temperature

IR-spectrum, ν , cm^{-1}	UV-spectrum, nm ($\lg \epsilon$)	Melting point, $^{\circ}\text{C}$
ν_{max} 1729 (CO- δ -lactone cycle), 1625, 1610, 1580, 1547 (C=C aromatic cycle)	λ_{max} 222 (4.38), 250 (4.24), 259 (4.17), 268 (4.17), 310 (4.12)	108.0–109.0

Table 6. ^1H NMR and ^{13}C NMR chemical shift values of isoimperatorin recorded in CDCl_3

^{13}C NMR		
1-C	C	18.6
2-C	CH	26.2
3-C	CH	70.2
4-C	CH	94.7
5-C	CH	105.4
6-C	CH	108.0
7-C	C	113.0
8-C	C	114.7
9-C	C	119.5
10-C	C	139.9
11-C	C	140.2
12-C	C	145.3
13-C	C	149.4
14-C	C	153.1
15-C	C	158.5
16-C	C	161.7

3. Isoimperatorin –
 $\text{C}_{16}\text{H}_{14}\text{O}_4$

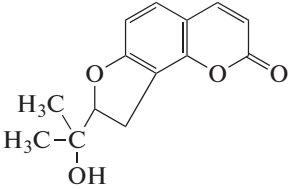


^1H NMR(6.30, 1H, $J = 9.65$ Hz and 8.15 m. h., 1H, $J = 9.65$ Hz), singlet (7.35 m. h., 1H), doublet (8.00, $J = 2.10$ Hz, 1H and 7.60 m. h., $J = 2.10$ Hz, 1H)

Table 8. ^1H NMR and ^{13}C NMR chemical shift values of columbianetin recorded in CDCl_3

^{13}C NMR		
1-C	C	160.2
2-C	CH	151.3
3-C	CH	139.2
4-C	CH	134.3
5-C	CH	132.6
6-C	CH	127.8
7-C	C	125.9
8-C	C	118.8
9-C	C	116.2
10-C	C	72.8
11-C	C	71.0
12-C	C	67.3
13-C	C	66.4
14-C	C	20.8

Columbianetin –
 $\text{C}_{14}\text{H}_{14}\text{O}_4$



^1H NMR (DMSO- d_6 , 400 MHz) δH (ppm) = 6.18 (1H, d, $J = 2$ Hz, H-6), 6.14 (1H, d, $J = 2$ Hz, H-8), 7.53 (1H, d, $J = 8.4$ Hz, H-1'), 6.89 (1H, d, $J = 8.8$ Hz, H-4'), 7.55 (1H, dd, $J = 2.4$ and 8.5 Hz, H-5')

Table 7. Columbianetin infrared (IR) and ultraviolet (UV) spectra and melting temperature

IR-spectrum, ν , cm^{-1}	UV-spectrum, nm (lg ϵ)	Melting point, $^{\circ}\text{C}$
ν_{max} 3408 (OH-group), 1716 (CO- δ -lactone), 1619, 1580 (C=C aromatic cycle)	λ_{max} 220 (4.08), 252 (3.52), 262 (3.55), 300 (3.83), 327 (4.18)	156.0–158.0

The ^1H NMR spectrum of columbianetin, recorded in DMSO- d_6 , shows five peaks. The peak at 6.18 ppm corresponds to a proton on carbon 6 (H-6) and is a doublet with a coupling constant (J) of 2 Hz. The peak at 6.14 ppm corresponds to a proton on carbon 8 (H-8) and is a doublet with a coupling constant of 2 Hz. The peak at 7.53 ppm corresponds to a proton on carbon 1' (H-1') and is a doublet with a coupling constant of 8.4 Hz. The peak at 6.89 ppm corresponds to a proton on carbon 4' (H-4') and is a doublet with a coupling constant of 8.8 Hz. The peak at 7.55 ppm corresponds to a proton on carbon 5' (H-5') and is a doublet of doublets with coupling constants of 2.4 and 8.5 Hz.

The ^{13}C NMR spectrum of columbianetin, recorded in CDCl_3 , shows 14 peaks. The chemical shift values indicate the presence of one carbonyl group (C-2), one lactone group (C-3), and an aromatic ring with six carbons (C-4 to C-9). In addition, there are four methylene carbons (C-10 to C-13) and one methyl carbon (C-14) (Table 8).

CONCLUSIONS

According to the obtained data, in Azerbaijan *Malabaila dasyantha* (C. Koch) Grossh (Apiaceae) has a resource potential in a small area of the middle mountain range of Gadabay region. The study reports the isolation of four novel compounds from the aerial parts of this species. The compounds were identified as scopoletin (4.3%), oxypencedanin (2.6%), isoimperatorin (3.5%), and columbianetin (2.5%), based on rigorous spectroscopic analysis and comparison with their physical properties reported in the literature. Notably, this is the first report of the isolation of these compounds from *M. dasyantha*. The identified coumarin derivatives are expected to have significant medicinal value. Further research is required to explore the potential applications of these novel compounds in the pharmaceutical industry.

REFERENCES

1. Ömer Kiliç. 2014. A morphological study on endemic *Malabaila lasiocarpa* Boiss. (Apiaceae) from Bingol (Turkey). — Bilecik Şeyh Edebalı Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi. 1(1): 28–32. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/bseufbd/issue/22290/239069>
2. Stevens P.F. 2001 onwards. Angiosperm Phylogeny Website. Version 14, July 2017. <http://www.mobot.org/MOBOT/research/APweb/> (Accessed 16.06.2023)
3. Ibadullayeva S.C. 2004. [Apiaceae of the Azerbaijan flora.] Baku. 347p.
4. *Malabaila*. The Plant List (2013). Version 1.1. <http://www.theplantlist.org/1.1/browse/A/Apiaceae/Malabaila/>
5. Judd W.S., Campbell C.C., Kellogg E.A., Stevens P.F., Donoghue M.J. 2007. Plant systematics: A phylogenetic approach, 3rd edition. Sunderland. 611 p. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20073241649>
6. Askerov A.M. 2016. [The higher plants of Azerbaijan (Conspectus of Azerbaijan flora)]. Vol. II. Baku. 283 p. (In Russian)
7. Nassar M.I., Aboutabl E.A., Maklad Y.A., El-Khrisy E.D.A., Osman A.F. 2009. Chemical constituents and bioactivities of *Malabaila suaveolens*. — Phcog. Res. 1(6): 342–347. <https://www.phcogres.com/article/2009/1/6/nil-1>
8. Zernov A.S. 2010. Plants of the Russian Western Caucasus. Field Atlas. Moscow. P. 447–448. (In Russian)
9. Serkerov S.V., Aleskerova A.N. 2006. [Infrared spectra and structure of sesquiterpene lactones and coumarins]. Baku. 233p. (In Russian)
10. Erbay M.S., Sarı A. 2018. Plants used in traditional treatment against hemorrhoids in Turkey. — Marmara Pharm. J. 22(2): 110–132. <https://doi.org/10.12991/mpj.2018.49>
11. Mammadov T.S., Asadov H.H. 2014. [Plant ecology]. Baku. P. 296–300. (In Russian)
12. Ghazanfar S.A. 1994. Handbook of Arabian Medicinal Plants. Boca Raton. 265 p.