На правах рукописи

Феськов Сергей Александрович

ХОЗЯЙСТВЕННО-БИОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РОЗМАРИНА ЛЕКАРСТВЕННОГО НА ЮЖНОМ БЕРЕГУ КРЫМА

4.1.4. Садоводство, овощеводство, виноградарство и лекарственные культуры (биологические науки)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Ялта – 2026

Диссертационная работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки «Ордена Трудового Красного Знамени Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН» (ФГБУН «НБС-ННЦ РАН»)

Научный руководитель: **Шевчук Оксана Михайловна,**
доктор биологических наук, старший научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Ордена Трудового Красного Знамени Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН», главный сотрудник лаборатории ароматических и лекарственных растений, заведующая отделом технических культур и биологически активных веществ, заместитель директора по науке

Официальные оппоненты: **Бобкова Наталья Владимировна,**
доктор фармацевтических наук, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования Первый московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова, доцент кафедры фармакогнозии, профессор кафедры фармацевтического естествознания Института фармации им. А.П. Нелюбина;

Тропина Нина Сергеевна,
кандидат сельскохозяйственных наук, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений», Северо-Кавказский филиал, старший научный сотрудник.

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки "Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма".

Защита диссертации состоится «24» декабря 2026 г. в 10-00 часов на заседании диссертационного совета 24.1.199.02 при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки «Ордена Трудового Красного Знамени Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН» по адресу: 298648, Российская Федерация, Республика Крым, м.о. город-курорт Ялта, тер. Никитский ботанический сад, здание 1, строение 1; e-mail: dissovet.nbs@yandex.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБУН «Ордена Трудового Красного Знамени Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН» по адресу: 298648, Российская Федерация, Республика Крым, м.о. город-курорт Ялта, тер. Никитский ботанический сад, здание 1 строение 1, адрес сайта: http://obr.nbgnsc.ru

Автореферат разослан «_24_» _октября 2026 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат биологических наук Зыкова Вера Константиновна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Современное состояние эфиромасличной отрасли в России характеризуется противоречивым сочетанием исторически сложившегося научно-технического потенциала и системных проблем, препятствующих её устойчивому развитию. С одной стороны, страна обладает уникальными агроклиматическими ресурсами для возделывания широкого спектра эфиромасличных культур, являющихся ценным сырьём для пищевой, фармакологической, косметической и других отраслей промышленности; с другой – глубокая структурная перестройка постсоветского периода привела к значительному сокращению площадей промышленных плантаций, деградации части сырьевой базы и критической зависимости от импорта как готовой продукции, так и ключевых видов эфирных масел.

Лекарственные и эфиромасличные растения являются важнейшим источником биологически активных веществ, используемых в фармацевтической, пищевой и парфюмерно-косметической промышленности. Среди них особое место занимает розмарин лекарственный (*Salvia rosmarinus* Spenn., syn. *Rosmarinus officinalis* L.) – культура, экстракты из сырья которой обладают высокой антиоксидантной, противомикробной и противовоспалительной активностью благодаря наличию эфирного масла с высоким содержанием цинеола и камфоры, а также фенольных соединений (в первую очередь розмариновой и карнозиновой кислот, карнозола).

На Южном берегу Крыма (ЮБК) розмарин лекарственный успешно интродуцирован в ФГБУН «Ордена Трудового Красного Знамени Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН» (НБС-ННЦ) и на протяжении десятилетий культивируется как промышленная эфиромасличная культура. Вместе с тем, до настоящего времени отсутствует комплексная оценка внутривидового хемотипического разнообразия, не изучена динамика накопления эфирного масла и фенольных соединений в зависимости от фенологической фазы растений, а также не проводилось сравнительное исследование биологической активности экстрактов (включая CO_2-экстракты) перспективных форм в направлении разработки фитопрепаратов.

Степень разработанности темы. Вопросы получения эфирных масел на протяжении длительного времени находятся в центре внимания отечественных исследователей (Тохсырова, 2016; Ермаченков, 2025). В мировой литературе описаны различные хемотипы розмарина лекарственного (вербеноновый, камфорный, 1,8-цинеольный, α-пиненовый и др.), однако для коллекции НБС-ННЦ такие исследования были проведены лишь фрагментарно (Napoli, 2010; Satyal, 2017; Jordán, 2013; Bakkali, 2022). Работы по динамике накопления эфирного масла розмарина в условиях ЮБК показали сезонную изменчивость, но не охватили весь спектр коллекционных форм. Исследования биологической активности водных, спиртовых и CO_2-экстрактов розмарина (Bozin, 2007; Jiang, 2011; Ojeda-Sana, 2013) подтвердили высокий потенциал этого сырья, однако ранжирование форм коллекции НБС-ННЦ по данному признаку не проводилось. Комплексного диссертационного исследования, объединяющего оценку хемотипического разнообразия, продуктивности, качества сырья и биологической активности применительно к условиям ЮБК, до настоящего времени не проводилось.

Цель исследования: научно обосновать направления использования розмарина лекарственного в садоводстве и лекарственном растениеводстве Южного берега Крыма на основе комплексного изучения особенностей развития, накопления биологически активных веществ и оценки биологической активности растительного сырья.

Задачи:

- Изучить особенности сезонного развития и морфологическую изменчивость розмарина лекарственного в условиях интродукции на Южном берегу Крыма.

- Выявить особенности анатомического строения вегетативных и генеративных органов розмарина лекарственного, установить локализацию липофильных веществ в их тканях и оценить генетическое разнообразие исследуемых образцов.

- Оценить основные хозяйственно ценные показатели сортов и образцов розмарина лекарственного, включая продуктивность надземной массы, массовую долю эфирного масла и содержание фенольных соединений.

- Изучить сезонную динамику накопления эфирного масла, определить его компонентный состав и оценить хемотипическую изменчивость исследованных образцов розмарина лекарственного.

- Выделить перспективные сортообразцы розмарина лекарственного по комплексу хозяйственно ценных признаков и биохимических характеристик для селекции и создания новых сортов.

- Оценить антимикробную и противогрибковую активность эфирного масла, гидролата, водных, спиртовых и CO_2-экстрактов из сырья розмарина лекарственного.

Работа выполнена в рамках НИР: «Выделить высокопродуктивные формы эфиромасличных и лекарственных растений для селекции на продуктивность, устойчивость к биотическим и абиотическим стрессорам в целях получения качественного сырья для фармацевтической, косметической и пищевой промышленности с дальнейшей его стандартизацией в рамках импортозамещения» (АААА-А19-119082890073-2), «Создание сортов эфиромасличных и лекарственных растений, содержащих значимые для здоровья человека биологически активные вещества, разработка на их основе и испытание средств для улучшения качества жизни человека» (FNNS-2022-0006) и «Выявление закономерностей синтеза биологически активных веществ как основы создания сортов эфиромасличных и лекарственных растений – источников ценного растительного сырья и средств для улучшения качества жизни человека в рамках реализации программы импортозамещения» (FNNS-2025-0001); Гранта РНФ № 14-50-00079 «Сохранение и изучение растительного генофонда Никитского ботанического сада и разработка способов получения высокопродуктивных сортов и форм садовых культур для юга России методами классической и молекулярной селекции, биотехнологии и биоинженерии».

Научная новизна: изучены особенности развития, продуктивность и хемотипическое разнообразие эфирного масла розмарина лекарственного при интродукции в условия сухого субтропического климата средиземноморского типа Южного берега Крыма; выявлены особенности анатомического и гистохимического строения вегетативных и генеративных органов розмарина лекарственного; выявлено хемотипическое разнообразие эфирного масла розмарина лекарственного и установлены закономерности динамики его накопления в надземной массе растений; впервые получены данные об антимикробной и противогрибковой активности эфирного масла, гидролата и CO_2-экстракта из сырья сортов розмарина лекарственного селекции НБС-ННЦ.

Теоретическая значимость работы. Работа вносит вклад в теорию интродукции растений, предоставляя данные о степени и механизмах адаптации видов к новым условиям сухих субтропиков Южного берега Крыма. Расширены представления о внутривидовой морфологической и хемотипической изменчивости розмарина лекарственного в условиях интродукции; выявлены особенности и динамика накопления биологически активных веществ в надземной массе, установлены зависимости «химический состав – биологическая активность».

Практическая значимость работы. В работе дана оценка перспективности культивирования розмарина лекарственного в зоне сухого субтропического климата средиземноморского типа в открытом грунте, что является важным вкладом в развитие эфиромасличного и лекарственного растениеводства в регионе. Созданы сорта и выделены перспективные сортообразцы с высоким выходом эфирного масла ценных хемотипов для

дальнейшей селекции и возделывания на ЮБК. Предложены сорта розмарина с доказанной противогрибковой и антимикробной активностью сырья для использования в разработке фитопрепаратов.

На основании результатов исследований разработаны конкретные агротехнические рекомендации по эффективному размножению и культивированию розмарина лекарственного в открытом грунте ЮБК. Определены оптимальные сроки уборки лекарственного растительного сырья розмарина для получения пряно-ароматического сырья, эфирного масла и экстрактов с наивысшей биологической активностью. Внедрение этих разработок будет способствовать расширению ассортимента лекарственных растений, возделываемых в регионе, в рамках импортозамещения.

Результаты исследования приняты к использованию на отечественных предприятиях (акты внедрения прилагаются) и также могут быть применены в учебном процессе при подготовке специалистов по садоводству и лекарственному растениеводству.

Методология и методы исследования. Методологическая основа диссертационного исследования базируется на системном подходе, объединяющем теоретический анализ научно-технической литературы, экспериментальные исследования на лабораторных и опытно-промышленных установках, а также статистическую обработку полученных данных. Полевые и лабораторные исследования проводились с использованием комплекса классических и современных методов интродукционного и биохимического изучения ароматических и лекарственных растений. Результаты исследований проанализированы методом математической статистики с использованием программного обеспечения Microsoft Office (Excel).

Положения, выносимые на защиту:

Морфолого-анатомические особенности вегетативных и генеративных органов, фенологические характеристики и внутривидовая изменчивость розмарина лекарственного как показатели его приспособленности к условиям интродукции на Южном берегу Крыма.

Особенности накопления и компонентного состава эфирного масла, содержания фенольных соединений и биологической активности продуктов переработки растительного сырья розмарина лекарственного как основа оценки его биохимической ценности и перспектив целевого использования.

Дифференцированный отбор и использование новых сортов и перспективных сортообразцов розмарина лекарственного в садоводстве и лекарственном растениеводстве Южного берега Крыма на основе их морфобиологических особенностей, хозяйственной продуктивности и биохимических характеристик.

Степень достоверности и апробация результатов исследований. Достоверность результатов многолетних исследований подтверждена методами математической статистики. Обработка данных выполнялась с учетом доверительной вероятности $P \leq 0,05$, что соответствует общепринятому в биологических исследованиях уровню значимости. Основные результаты диссертации доложены на всероссийских и международных конференциях: V Международной научно-практической конференции «Аромакоррекция психофизического состояния человека» (Ялта, 27-29 октября 2015), 30th International Horticultural Congress (Стамбул, 12-16 августа 2018), VIII Международной научно-практической конференции «Биотехнология как инструмент сохранения биоразнообразия растительного мира (физиолого-биохимические, эмбриологические, генетические и правовые аспекты» (Ялта, 2018), XXV Российском национальном конгрессе «Человек и лекарство» (Москва, 9-12 апреля 2018), VII Всероссийской научно-практической конференции «Беликовские чтения» (Пятигорск, 5-6 декабря 2019), Всероссийской конференции «Коллекции как основа изучения генетических ресурсов растений и грибов» (Санкт-Петербург, 21-24 июня 2022).

Публикации. Основные положения и результаты диссертации отражены в 21 научной работе, патентах и авторских свидетельствах: 1 статья в рецензируемом журнале, рекомендованном ВАК РФ по специальности 4.1.4. Садоводство, овощеводство, виноградарство и лекарственные культуры (биологические науки); 4 статьи в журналах, входящих в международные базы данных и системы цитирования (Scopus и WoS); 2 патента и авторских свидетельства; 7 публикаций в иных рецензируемых журналах; 1 – монография; 6 материалов и тезисов международных и всероссийских научных конференций.

Структура и объем диссертационной работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, включающих аналитический обзор литературы, объекты и методы исследований, результаты собственных исследований, заключения, списка литературы (255 наименований) и двух приложений. Диссертация изложена на 183 страницах. Работа содержит 19 таблиц и 20 рисунков.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

ГЛАВА 1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ И НАПРАВЛЕНИЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РОЗМАРИНА ЛЕКАРСТВЕННОГО

В главе изложены сведения о современном систематическом положении и распространении розмарина лекарственного, приведено ботаническое описание, указаны сферы применения сырья розмарина лекарственного в пищевой, косметологической промышленности и в медицине. Рассмотрен опыт интродукционного изучения в мире и в России. Охарактеризованы биологически активные вещества сырья розмарина, хемотипическое разнообразие эфирного масла. Дан анализ современных исследований по биологической активности сырья розмарина лекарственного.

Розмарин лекарственный, семейство Lamiaceae, по современным молекулярным данным (Drew et al., 2017) включён в род *Salvia* L. – *Salvia rosmarinus* Spenn. Естественный ареал: Средиземноморский регион (Южная Европа, Северная Африка, Передняя Азия). Интродуцирован на Южный берег Крыма (ЮБК) (Никитский ботанический сад) в 1813 г. На сегодняшний день также культивируется в субтропических и умеренно-тёплых регионах мира (Франция, США, Эфиопия и др.).

ГЛАВА 2 ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектами исследования были шесть образцов розмарина лекарственного из коллекции ароматических и лекарственных растений ФГБУН «НБС-ННЦ РАН», различавшиеся происхождением, габитусом, параметрами листа и окраской венчика: RO1 – в коллекции НБС-ННЦ с 2000 г., куст прямостоячий, серовато-зелёной окраски с узкими ланцетными листьями и густым опушением, цветки белые; RO2 – в коллекции НБС-ННЦ с 2000 г., куст полупрямостоячий, зелёный, с узкими ланцетными листьями и выраженным опушением, цветки фиолетово-голубые; RO3 – куст раскидистый, зелёный, с узкими ланцетными листьями и густым опушением, цветки светло-голубые; RO4 – куст полупрямостоячий, зелёный, с очень узкими линейными листьями и густым опушением, цветки светло-лиловые; RP5 – var. *prostratus* Mazziari, куст стелющийся, зелёный, с узкими ланцетными листьями и выраженным густым опушением, цветки голубовато-фиолетовые; RP6 – var. *prostratus* f. *erecta*, куст полупрямостоячий, зелёный, с узкими ланцетными листьями и выраженным опушением, цветки фиолетово-голубые. Растительный материал образцов RO3 - RP6 был получен из ботанических учреждений Черноморского побережья Кавказа в 2015 г. Контроль – сорт ′Горизонт′ селекции НБС-ННЦ.

Полевые и лабораторные исследования проводились с использованием комплекса классических и современных методов интродукционного изучения ароматических и лекарственных растений в период с 2015 по 2025 годы на базе лаборатории ароматических и

лекарственных растений НБС-ННЦ. Полевые опыты проводились в условиях открытого грунта на опытном участке лаборатории (почва – агрокоричневая среднегумусированная мощная карбонатная легкоглинистая (Орёл, 2018)). Опыт был заложен черенками в 2015 году; основные наблюдения начаты с 2017 года, когда растения достигли трехлетнего возраста. Метеорологические условия периода исследований приведены по данным агрометеостанции «Никитский сад».

Интродукционные, селекционные исследования и фенологические наблюдения, проводились с использованием общепринятых методик и методических разработок лаборатории ароматических и лекарственных растений НБС-ННЦ (Шевчук и др., 2022).

Анатомические исследования вегетативных и генеративных органов розмарина лекарственного проводили на фиксированном материале (Барыкина и др., 2004; Солдатов и др., 2024). Гистохимическое выявление эфирного масла в тканях листовых пластинок осуществляли 0,01% спиртовым раствором Судана III, который дает оранжевое окрашивание (Барыкина и др., 2004; Никитина и др., 2018). Полученные препараты исследовали с помощью микроскопа Микмед-6 (Ломо, Россия), оснащенного цифровой камерой E3ISPM12000KPA (ToupTek, Китай), подключенной к ПК с ПО ImageView v. x64, 4.11.20923.20220526.

Массовую долю эфирного масла определяли методом гидродистилляции по Гинзбергу из свежесобранного сырья (Методы…, 1962). Компонентный состав эфирного масла исследовали методом ГХ-МС на хроматографе Хроматэк-Кристалл 5000.2 (Хроматэк, РФ) с масс-спектрометрическим детектором. Компоненты эфирного масла идентифицировали по результатам сравнения с данными библиотеки масс-спектров NIST14 MS Search (Ткачев, 2008; Яшин, Яшин, Яшин, 2009). Изучение количественного состава фенольных соединений проводили методом ВЭЖХ (Государственная…, 2021).

Гидролат получали методом Далматова, CO_2-экстракты – методом сверхкритической флюидной экстракции (Aliev, 2015).

Антимикробную активность эфирного масла и экстрактов определяли дискодиффузионным методом Кирби-Бауэра; минимальную ингибирующую концентрацию – методом бульонных микроразведений в 96-луночных планшетах согласно рекомендациям CLSI M07-A10 (Clinical and Laboratory Standards Institute, 2015a). Антимикробное действие гидролата определяли методом двукратных серийных разведений препаратов в жидкой питательной среде (агар-агар) согласно стандарту МУК 4.2.2316-08. Противогрибковую активность CO_2-экстрактов в отношении штаммов *Candida* оценивали методом «колодцев».

ГЛАВА 3 ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ РОЗМАРИНА ЛЕКАРСТВЕННОГО В УСЛОВИЯХ ЮЖНОГО БЕРЕГА КРЫМА

3.1 Феноритмы развития розмарина лекарственного в условиях ЮБК

Изучение сезонного развития шести образцов розмарина лекарственного показало, что в условиях интродукции на Южном берегу Крыма растения сохраняют жизненную форму вечнозелёного кустарника, характеризующегося практически непрерывной вегетацией и двумя периодами цветения: весенним и осенним. Анализ феноспектров за 2017-2021 гг. выявил межгодовую и межобразцовую изменчивость сроков начала и окончания генеративных фаз, включая бутонизацию, цветение и плодоношение. Весеннее цветение наблюдалось преимущественно с конца февраля до начала мая, осеннее – в сентябре-октябре, при этом в отдельные годы его начало смещалось на август. Выявленные различия свидетельствуют об изменчивости сезонного ритма развития розмарина лекарственного в условиях ЮБК и должны учитываться при подборе форм для декоративного садоводства и определении сроков заготовки растительного сырья (Рисунок 1).

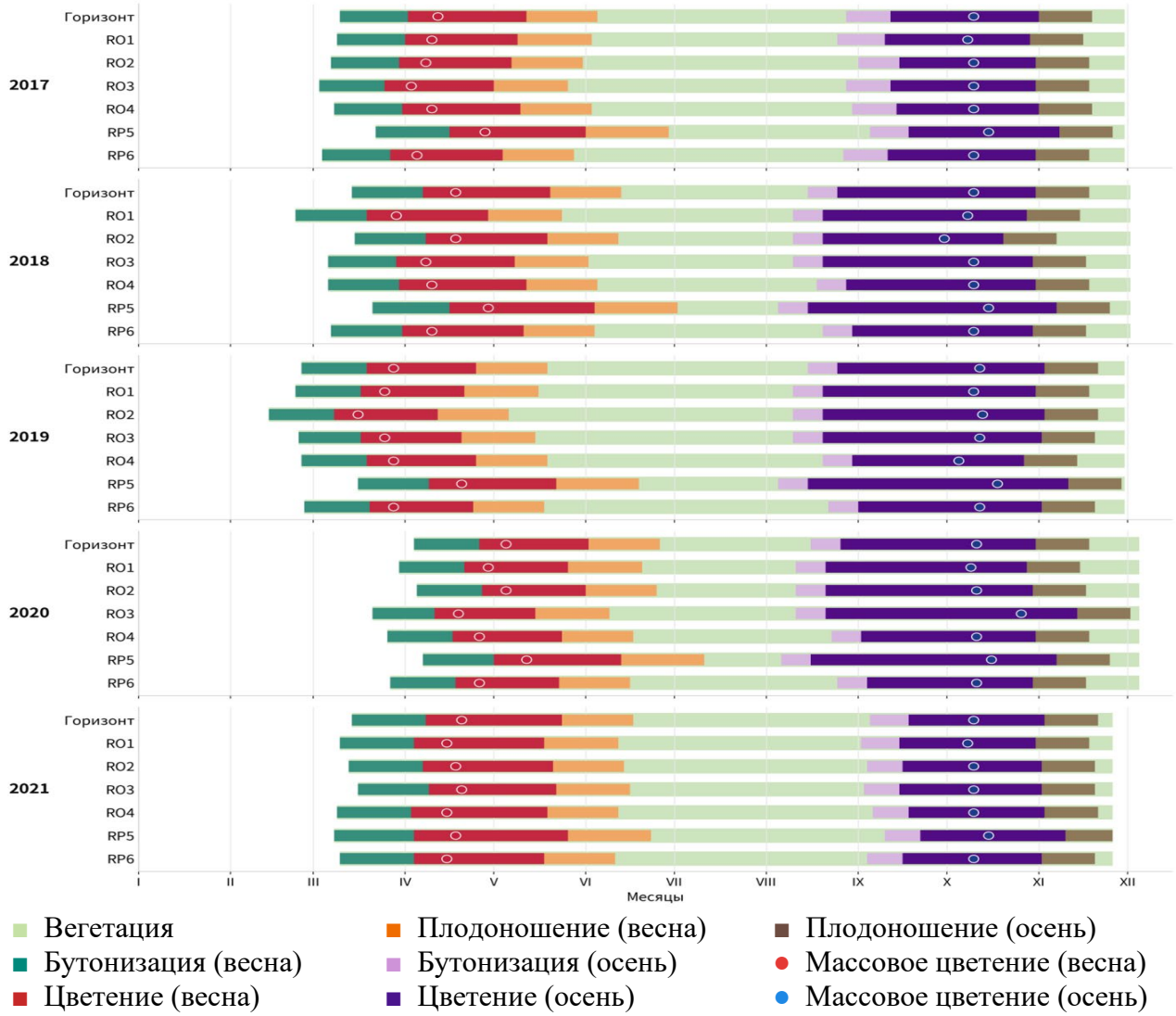


Рисунок 1 – Феноспектр образцов розмарина лекарственного в условиях Южного берега Крыма (2017-2021 гг.)

Установлено, что в условиях ЮБК розмарин лекарственный завязывает семена с очень низкой лабораторной всхожестью (3-7%). В связи с этим, а также с целью сохранения основных сортовых характеристик основным способом размножения является черенкование: укореняемость черенков, заготовленных весной с полуодревесневших побегов, составляет 60-85%.

3.2 Морфологическая изменчивость розмарина лекарственного

Изучение морфологических параметров образцов розмарина лекарственного выявило выраженную внутривидовую вариабельность (Таблица 1). Высота растений варьировала от 60 до 130 см. По габитусу куста были выделены раскидистые и низкорослые формы, по индексу ширины листа – узколистные и широколистные. По окраске венчика представлены белоцветковые, светло-голубые, лиловые и фиолетово-голубые формы. Длина листа составляет 35 мм, ширина – 1,9-3,7 мм, по индексу листа образцы подразделяются на очень узколистные ('Горизонт' – 14,7; RO1 – 15,2; RO4 – 11,7) и узколистные (RO2 – 8,8; RO3 – 7,3; RP5 – 7,0; RP6 – 10,0). Таким образом, выявленная внутривидовая изменчивость морфологических признаков имеет значение не только для отбора хозяйственно ценных форм, но и для определения направлений декоративного использования розмарина лекарственного. Различия высоты и формы куста, размеров листьев и окраски венчика позволяют выделять прямостоячие, полупрямостоячие и стелющиеся формы как перспективный ассортимент для различных типов озеленения Южного берега Крыма.

Таблица 1 – Морфологические параметры образцов розмарина лекарственного в условиях Южного берега Крыма (2017-2021 гг.) (M ± SE)

Признак	'Горизонт'	RO1	RO2	RO3	RO4	RP5	RP6
Куст							
Высота, см	131,0±13,3	132,0±12,8	126,0±8,1	112,0±3,7	84,0±4,3	62,1±2,4	80,0±4,3
Диаметр, см	98,3±4,4	98,3±4,4	86,3±2,4	88,3±4,9	74,8±3,2	122,5±8,5	74,8±3,2
Форма	раскиди-стая	раскиди-стая	полупря-мостоячая	раскиди-стая	полупря-мостоячая	стелющаяся	полупрямо-стоячая
Лист							
Длина, мм	28,0±1,0	35,0±0,1	30,0±0,1	27,0±1,0	35,0±1,0	19,0±1,0	27,0±1,0
Ширина, мм	1,9±0,1	2,3±0,1	3,4±0,1	3,7±0,1	3,0±0,1	2,7±0,1	2,7±0,1
Индекс листа	14,7	15,2	8,8	7,3	11,7	7,0	10,0
Цветок							
Окраска венчика	белая	белая	фиолетово-голубая	светло-голубая	светло-лиловая	голубовато-фиолетовая	фиолетово-голубая
Длина венчика, мм	9,5±0,5	9,6±0,5	9,0±0,5	9,5±0,5	9,3±0,5	9,5±0,5	9,5±0,4
Длина чашечки, мм	4,8±0,3	4,6±0,2	4,8±0,3	4,8±0,3	4,7±0,2	4,7±0,3	4,6±0,3

3.3 Анатомическое и гистохимическое строение вегетативных и генеративных органов розмарина лекарственного

С целью определения приспособленности розмарина к условиям интродукции, в частности к засушливому климату региона, изучена морфология листовой пластинки образцов. Выявлена отчетливая завернутость нижнего края листа всех образцов розмарина на абаксиальную сторону, в результате чего формируется замкнутая полость, где локализуется устьичный аппарат, защищенный трихомами от интенсивного воздушного потока. Указанный тип строения края и образование ксероморфных полостей рассматриваются как диагностические анатомические признаки вида (Pawłowska et al., 2020).

Сравнительный анализ исследованных образцов показал неоднородность по глубине завернутости краев и плотности опушения (Рисунок 2).

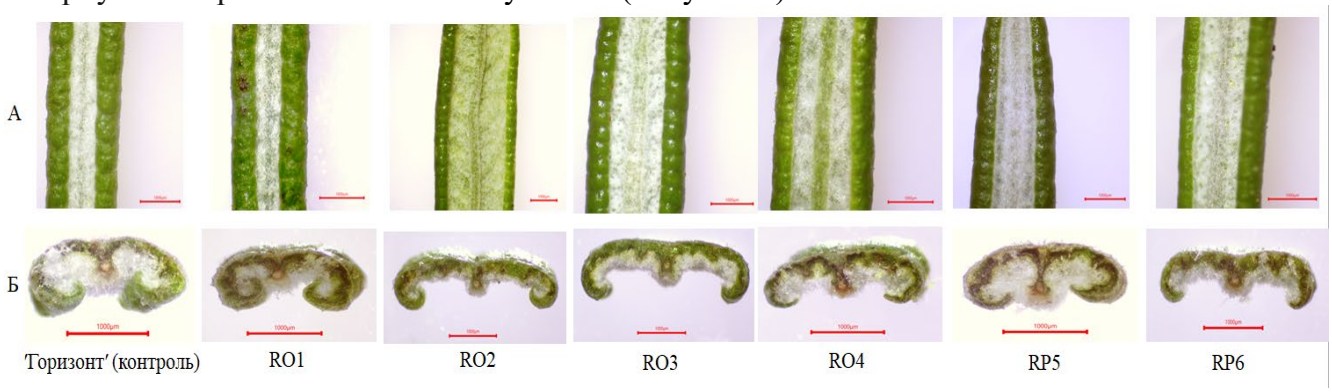


Рисунок 2 – Опушение (А) и степень завернутости листа на абаксиальной стороне (Б) образцов розмарина лекарственного

Для образцов RO1-RO4 характерны умеренная степень заворота краев листовой пластинки и смешанный тип опушения, в котором преобладают нежелезистые ветвистые трихомы, а пельтатные железки встречаются единично. У образцов RP5-RP6 плотность нежелезистых трихом на абаксиальной стороне выше, они почти полностью заполняют пространство, образованное подвернутыми краями, а края листовой пластинки завернуты сильнее. Выявленные различия между образцами по глубине завернутости краев и

плотности опушения отражают индивидуальную изменчивость, при этом общий защитный структурный план вида сохраняется. Сорт 'Горизонт' по изученным признакам соответствует средним значениям выборки и может рассматриваться как контрольный.

Анатомо-гистохимическое изучение листовой пластинки

Поперечные срезы листьев на абаксиальной поверхности имеют ветвистые многоклеточные трихомы, пельтатные железки, головчатые трихомы (редко), устьица (Рисунок 3).

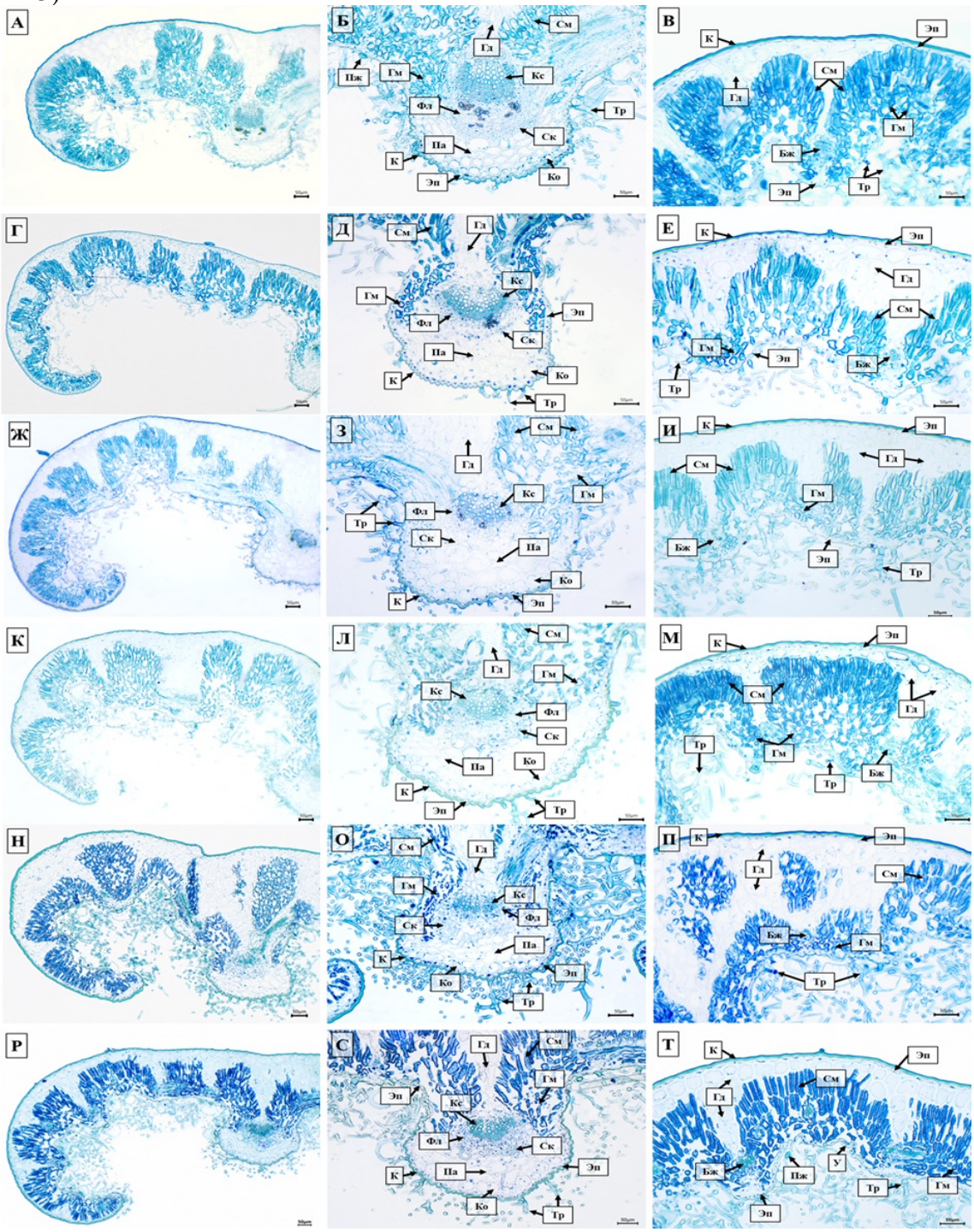


Рисунок 3 – Поперечные срезы листовых пластинок в области центральной и боковой части

Сокращениями обозначены: А, Б, В – RO1; Г, Д, Е – RO2; Ж, З, И – RO3; К, Л, М – RO4; Н, О, П – RP5; Р, С, Т – RP6. Бж – боковая жилка, Гд – гиподерма, Гм – губчатый мезофилл, К – кутикула, Ко – коленхима, Кс – ксилема, Па – паренхима, Пж – пельтатная железка, Ск – склеренхима, См – столбчатый мезофилл, Тр – трихома, У – устьице, Фл – флоэма, Эп – эпидерма

Эпидерма покрыта хорошо развитой кутикулой. Сформированная гиподерма делит дифференцированный мезофилл на отдельные участки. В центральной жилке четко различимы покровные, механические, проводящие и основные ткани. Совокупность морфолого-анатомических признаков (эпидерма с кутикулой, наличие кроющих трихом и железок, хорошо развитых механических тканей, небольшие листья) свидетельствует о ксероморфности исследованных нами растений. Такая структура согласуется с литературными данными (Mahmoud, 2023) из природного ареала (Средиземноморья) и других регионов и отражает приспособленность вида к условиям периодического дефицита влаги.

Качественное гистохимическое выявление эфирного масла на поперечных срезах листовых пластинок образцов розмарина с применением Судан III выявило положительную реакцию у всех образцов: кутикула, пельтатные железки и отдельные включения в клетках мезофилла окрашивались в красно-оранжевый цвет (Рисунок 4).

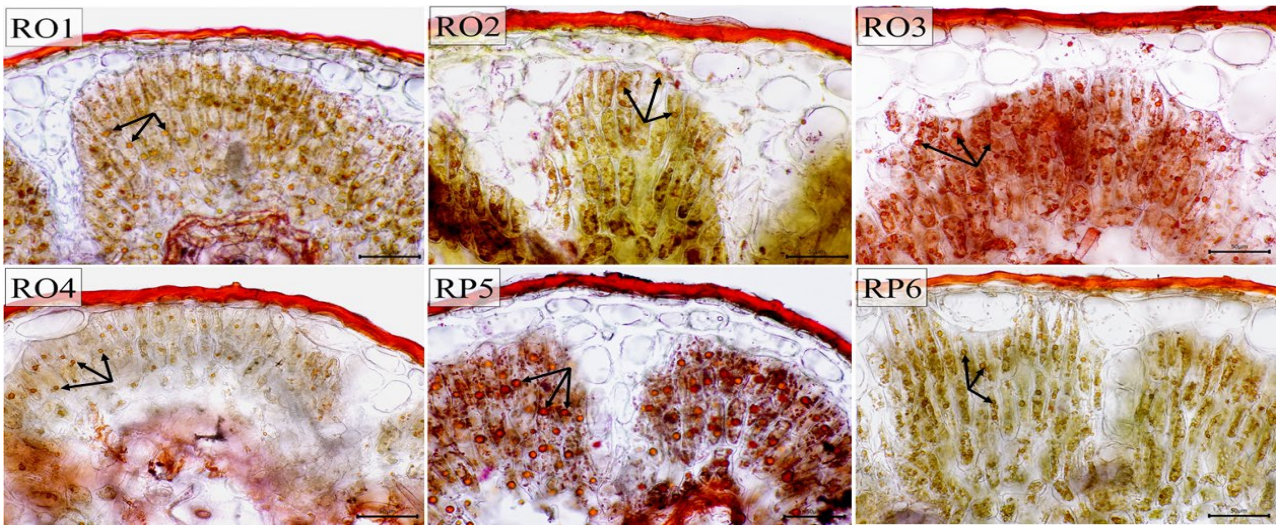


Рисунок 4 – Качественное гистохимическое выявление эфирного масла при помощи Судана III на поперечных срезах листьев образцов розмарина лекарственного
Стрелочками показаны структуры, содержащие липофильные компоненты

Вследствие неспецифичности окрашивания Судана III кутикула приобретала соответствующую окраску, что обусловлено липофильностью ее компонентов. Липофильные свойства эфирных масел связаны с их химическим составом и наличием неполярных гидрофобных органических соединений. Полученные результаты позволяют предположить, что у исследованных образцов розмарина эфирное масло и/или его предшественники локализованы в пельтатных железках (Рисунок 5). Окрашивание структур внутри клеток мезофилла, вероятно, обусловлено присутствием/накоплением липофильных соединений, например, фенольных дитерпенов или запасных масел.

Морфолого-гистохимическое изучение чашечки цветка розмарина

Изучение поверхности чашечки имеет значение для характеристики сортов розмарина лекарственного, поскольку особенности опушения и железистого аппарата связаны с накоплением эфирного масла и могут служить дополнительными диагностическими признаками. Исследованы поверхность и гистохимические срезы чашечек на примере двух форм RO1 и RO2. Поверхность чашечки у RO1 и RO2 густо опушена. Под стереомикроскопом имеют серебристо-зелёную или серовато-зелёную окраску за счёт плотного войлочного покрова. Среди волосков хорошо различимы мелкие точечные образования – пельтатные железки (Рисунок 6). Опушение образовано преимущественно ветвистыми волосками. Плотный слой трихом полностью перекрывает эпидерму и придаёт поверхности характерный серебристый оттенок.

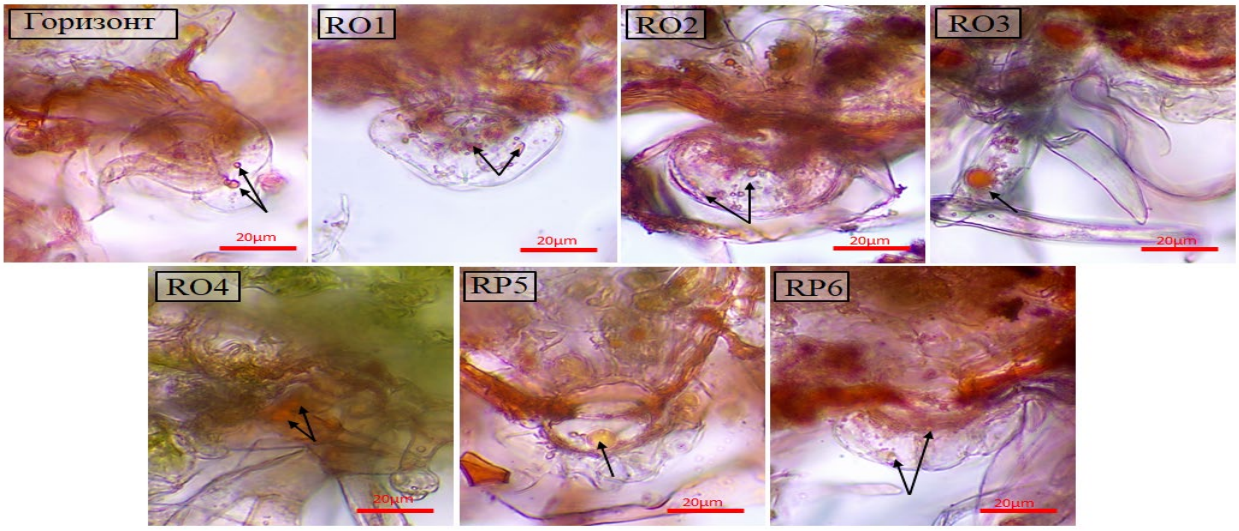


Рисунок 5 – Гистохимическое выявление липофильных веществ в пельтатных железках образцов розмарина лекарственного (окраска Суданом III)
Стрелочками показаны структуры, содержащие эфирное масло

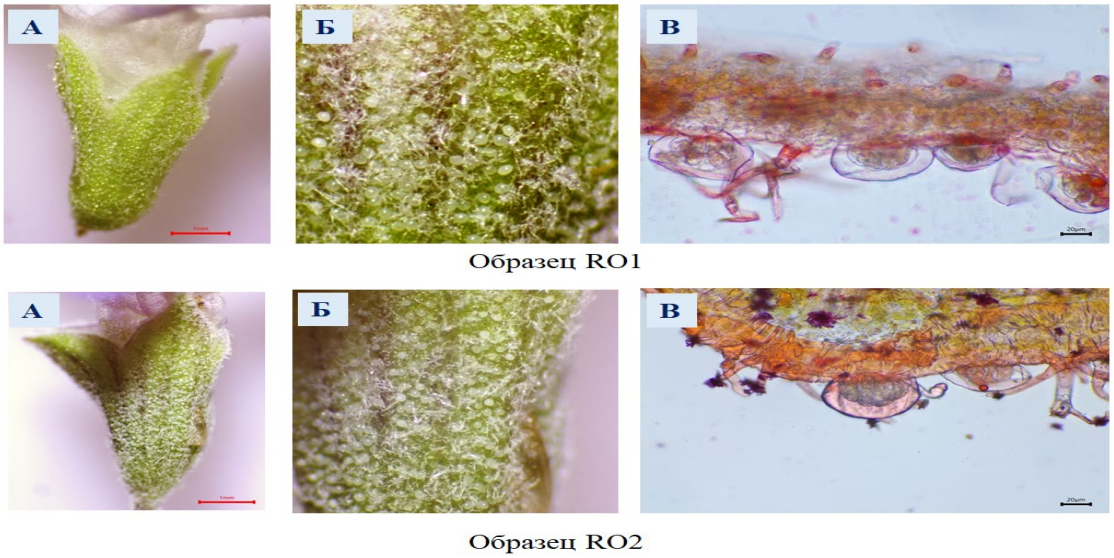


Рисунок 6 –Морфология чашечки розмарина лекарственного
А – общий вид чашечки; Б – густое опушение из простых многоклеточных нежелезистых трихом и пельтатные эфиромасличные железки; В– пельтатные железки

На поверхности чашечки преобладают пельтатные (щитовидные) железки с короткой одноклеточной ножкой и крупной многоклеточной головкой, обычно состоящей из шести-восьми выделительных клеток, расположенных радиально. Железки распределены по всей наружной поверхности чашечки, включая зубцы; на макроснимках они выглядят как мелкие блестящие капельки. Описанное строение поверхности соответствует данным, полученным ранее для вида в целом (Bottega, Corsi, 2000).

Таким образом, сравнительное морфолого-анатомическое изучение исследованных образцов выявило комплекс признаков ксероморфного строения, включающий особенности завёрнутости краёв листьев, развитость покровных и механических тканей, характер опушения и расположение железистых структур. Эти особенности характеризуют структурные предпосылки приспособленности розмарина лекарственного к условиям периодического дефицита влаги на ЮБК. Гистохимические исследования позволили установить особенности локализации липофильных веществ в тканях вегетативных и генеративных органов.

ГЛАВА 4 БИОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СЫРЬЯ РОЗМАРИНА ЛЕКАРСТВЕННОГО

4.1 Продуктивность надземной массы, содержание эфирного масла

Продуктивность надземной массы у изученных образцов варьировала от 420 до 1200 г с растения (Таблица 2). Наибольшей продуктивностью характеризовался RO1 – 1200,0 ± 90,0 г, что на 20,6% выше контроля 'Горизонт' (995,0±58,0 г). У RO2 этот показатель составил 570,0 ± 60,1 г. Образцы RO3, RO4, RP5 и RP6 по продуктивности были близки между собой (420,0-476,3 г) и уступали контролю.

Таблица 2 – Продуктивность и содержание эфирного масла в надземной массе образцов розмарина лекарственного (2017-2021 гг.) (M ± SE)

Признак	'Горизонт'	RO1	RO2	RO3	RO4	RP5	RP6
Продуктив-ность, г/ раст.	995,0± 58,0	1200,0± 90,0	570,0± 60,1	476,3± 45,8	420,0± 70,0	466,3± 77,8	460,5± 44,2
ЭМ, % от сырой массы	0,78±0,07	0,83±0,06	0,06±0,02	0,52±0,06	0,58±0,11	0,61±0,13	0,75±0,02
ЭМ, % на абсолютно сухой вес	2,06±0,1	2,08±0,12	0,19±0,05	1,43±0,12	2,06±0,17	1,70±0,15	2,12±0,13

Различия между образцами по накоплению биомассы согласуются с данными, полученными при изучении коллекций розмарина в других регионах интродукции (Verma et al., 2020; Zigene et al., 2024).

Содержание эфирного масла в пересчёте на сырую массу у большинства образцов находилось в пределах 0,52-0,83%. У контроля (сорт 'Горизонт') в надземной массе накапливается 0,78±0,07%. Близкие значения отмечены у RO1 (0,83±0,06 %) и RP6 (0,75±0,02%). У RP5, RO4 и RO3 содержание масла было ниже (0,61±0,13; 0,58±0,11 и 0,52±0,06 % соответственно). Минимальное значение зафиксировано у RO2 – 0,06±0,02%, что существенно ниже как контроля, так и остальных образцов.

Сопоставление продуктивности надземной массы и содержания эфирного масла позволило выделить образцы с различной хозяйственной перспективностью. RO1 сочетает максимальную продуктивность (1200,0±90,0 г/растение) с высоким содержанием эфирного масла (0,83±0,06% от сырой массы), что обосновывает его перспективность для селекции на продуктивность. RP6 при меньшей продуктивности отличается максимальной массовой долей эфирного масла в пересчёте на абсолютно сухое сырьё (2,12±0,13%). RO2, напротив, характеризуется низким содержанием эфирного масла (0,06±0,02%), что ограничивает его использование в эфиромасличном направлении. Следовательно, хозяйственная оценка исследованных образцов должна основываться на совместном учёте продуктивности и масличности с последующим рассмотрением компонентного состава эфирного масла.

Изучение компонентного состава эфирного масла показало, что сорта розмарина лекарственного RO1 и RO2 характеризуются высоким содержанием фенольных соединений. По результатам ВЭЖХ, их сумма составила 2724±68 и 2550±63 мг/100 г, а содержание розмариновой кислоты 1540±15 и 620±62 мг/100 г соответственно (Шевчук и др., 2024). Высокое содержание розмариновой кислоты в образце RO1 подтверждается также результатами тонкослойной хроматографии, спектрофотометрии и капиллярного электрофореза (Никитина и др., 2018).

4.2 Компонентный состав эфирного масла, изменчивость, хемотипы

Анализ компонентного состава эфирного масла изучаемых образцов показал выраженную хемотипическую неоднородность (Marko, 2020). Основными компонентами в

разных соотношениях были: α-пинен, β-пинен, 1,8-цинеол, камфора, борнеол, вербенон, линалоол и борнилацетат (Таблица 3).

Для перехода от характеристики компонентного состава отдельных образцов к оценке их сходства и различий применяли методы многомерного статистического анализа. В частности, использовали метод главных компонент (PCA) и иерархический кластерный анализ с агломеративным алгоритмом Уорда на основе евклидова расстояния в пространстве стандартизированных признаков. Первые две главные компоненты в сумме описывали более 64 % общей дисперсии выборки. Это достаточно высокий показатель, позволяющий интерпретировать основные закономерности распределения объектов. На ординационной диаграмме PCA наиболее отдаленным по оси PC1 было положение образца RO2 (Рисунок 7). Анализ исходных данных показывает, что такое смещение связано со специфическим соотношением мажорных компонентов, высоким содержанием борнеола и камфоры при одновременном низком уровне 1,8-цинеола.

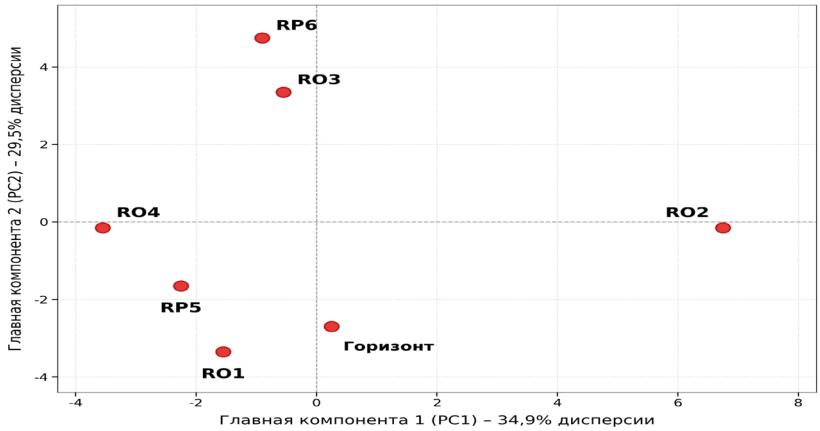


Рисунок 7 – Ординационная диаграмма PCA распределения образцов розмарина по компонентному составу эфирного масла

Метод главных компонент подтверждает выделение хемотипов среди изученных образцов розмарина (Таблица 3). Эфирное масло образцов RO3 (основные компоненты: 1,8-цинеол – 37,5-48,5%), α-пинен – 11,8-15,5%, β-пинен –7,7-8,5%, камфора – 0,5-1,4%) и RP6 (1,8-цинеол – 38,0-46,8%, борнеол – 14,0-14,8%, α-терпинеол – 4,0-4,5%, камфора –0,6%) относятся к классическому цинеольному хемотипу, распространённому в Северной Африке и на юге Испании (Ben Jemia et al., 2015; Jordán et al., 2011). Эфирное масло сорта 'Горизонт', образцов RO1 (камфора – 32,57-39,92%, 1,8-цинеол – 18,85-22,05%, α-пинен – 9,18-11,99%, вербенон –1,90-1,95%) и RO4 (камфора – 17,8-19,4%, 1,8-цинеол – 17,3%, борнилацетат – 4,6-7,8%, α-пинен – 8,4-10,5%) - к камфорно-цинеольному хемотипу, характерному для многих европейских популяций розмарина (Angioni et al., 2004; Jordán et al., 2011). Эфирное масло образца RO2 образует отдельный борнеолово-камфорный хемотип с высоким содержанием линалоола (борнеол – 23,2-31,5%, камфора – 17,4-22,4%, линалоол – 8,7-12,0%, 1,8-цинеол – 2,5-6,8%), который встречается реже (Bekhechi et al., 2024); компонентный состав эфирного масла RP5 (α-пинен – 26,7-27,0%, вербенон – 9,2-11,4%, 1,8-цинеол – 12,2-12,9%, камфора – 7,7%) близок к пиненово-вербеноновому хемотипу (Satyal et al., 2017; Li et al., 2016). Кластерный анализ подтверждает обособление этих хемотипов (Рисунок 8).

Промышленными являются 1,8-цинеольный и камфорно-цинеольный хемотипы, соответствующие стандарту ISO 1342:2012. Образцы RO3 (цинеольный), сорт 'Горизонт' и RO1 (камфорно-цинеольные) являются классическими представителями данных хемотипов эфирного масла. На данный момент в коллекции НБС-ННЦ представлены все известные хемотипы, кроме вербенонового.

Таблица 3 – Компонентный состав эфирного масла образцов розмарина лекарственного (%, min-max, 2017-2021 гг.)

№	Компонент	RI	'Горизонт'	RO1	RO2	RO3	RO4	RP5	RP6
1	3-октанон	984	1,17-2,95	1,89-6,38	0,07-0,12	0,10-0,16	4,12-6,25	-	0,18-0,20
2	1-октанен-3-ол	978	0,85-2,27	0,33-0,56	0,17-0,90	0,69-1,05	0,69-0,83	0,06-0,08	0,69-0,95
3	α-феландрен	1005	0,17-0,60	0,83-1,36	-	0,09-0,15	1,65-2,40	0,21-0,38	0,12-0,15
4	α-терпинен	1017	0,03-0,41	0,15-0,55	-	0,31-0,50	0,45-0,66	0,42-0,81	0,49-0,56
5	трициклен	1022	0,12-0,31	0,16-0,28	-	0,06-0,07	0,15-0,17	0,09-0,12	0,05-0,08
6	*p*-цимен	1026	0,36-0,85	0,37-0,76	0,14-0,48	0,13-0,75	0,70-1,21	0,76-1,26	1,09-1,13
7	лимонен	1030	1,71-3,26	2,45-3,04	0,61	1,76	3,74-4,04	3,41-3,97	0,55-0,67
8	α-туен	1032	0,03-0,21	0,07-0,15	0,19	0,25-0,44	0,29-0,46	0,19-0,20	0,43-0,60
9	**α-пинен**	1036	3,89-11,93	**9,18-11,99**	0,13-0,19	**11,78-15,52**	**8,38-10,52**	**26,68-27,04**	5,79-6,29
10	**1,8-цинеол**	**1040**	**16,99-25,59**	**18,85-22,05**	2,54-6,81	**37,48-48,54**	**17,30-17,37**	**12,16-12,90**	**38,03-46,75**
11	γ-терпинен	1060	0,20-0,82	0,47-0,87	-	0,62-1,37	1,63-1,71	1,83-2,21	1,50-1,93
12	*cis*-сабинен гидрат	1070	0,08-0,52	0,25-0,41	0,07-0,11	0,66-1,22	0,63-0,78	0,32-0,34	0,94-1,09
13	камфен	1082	2,77-8,23	5,44-7,09	0,05-0,17	2,92-3,59	5,42-6,07	3,40-3,53	2,55-3,31
14	α-терпинолен	1088	0,22-0,90	0,50-0,91	0,05-0,07	0,39-0,68	0,51-0,71	0,93-1,46	0,38-0,44
15	линалоол	1098	0,92-1,07	0,99-1,33	8,71-12,00	3,21-3,37	1,06-1,39	3,19-3,28	1,38-1,40
16	β-пинен	1123	0,93-7,72	3,28-5,42	0,04-0,07	7,65-8,50	4,31-6,40	2,27-3,45	**8,43-10,06**
17	хризантенон	1125	0,81-1,36	0,43	0,56-1,04	0,15-0,24	0,19	1,02-1,14	-
18	**камфора**	**1145**	**16,64-29,07**	**32,57-39,92**	**17,43-22,41**	**0,53-1,38**	**17,82-19,40**	7,65-7,68	0,56-0,70
19	борнеол	1165	3,03-8,09	2,51-3,58	**23,21-31,49**	3,78-9,61	4,84-5,10	1,68-2,16	**14,03-14,82**
20	β-мирцен	1176	1,74-5,44	0,79-1,72	0,09-0,13	1,60-1,87	3,15-3,46	3,45-4,23	1,34-1,55
21	терпинен-4-ол	1177	1,08-2,07	0,80-0,99	1,65-2,04	1,11-1,39	1,14-1,33	1,71-1,86	1,42-1,53
22	α-терпинеол	1189	2,03-3,72	1,64-1,83	3,00-3,69	3,15-4,65	1,91-1,97	2,28-2,32	3,96-4,51
23	вербенон	1204	2,84-11,31	1,90-1,95	5,83-10,15	1,70-2,51	1,14-1,87	9,23-11,38	0,04-0,03
24	борнил ацетат	1285	0,98-4,75	0,87-2,23	0,90-5,97	3,99-6,47	4,64-7,78	3,98-6,00	2,50-5,25
25	β-кариофиллен	1419	0,42-1,05	0,38-1,58	0,39-2,31	1,86-2,41	1,41-2,38	0,49-0,99	1,45-1,76
26	гумулен	1454	0,35-0,96	0,47-1,10	0,24-0,62	0,23-0,38	0,23-0,34	0,09-0,19	0,07-0,12
27	кариофиллен оксид	1580	0,27-0,80	0,11-0,53	0,61-3,03	0,22-0,92	0,35-0,97	0,04-0,10	0,39-0,86
Идентифицированных компонентов, %			93-96	91-95	89-94	94-97	91-95	89-93	91-96

Примечание. *В таблице представлены идентифицированные компоненты эфирного масла, включённые в сравнительный анализ химического состава исследованных образцов. Для каждого соединения приведены установленные диапазоны содержания в отдельных образцах*

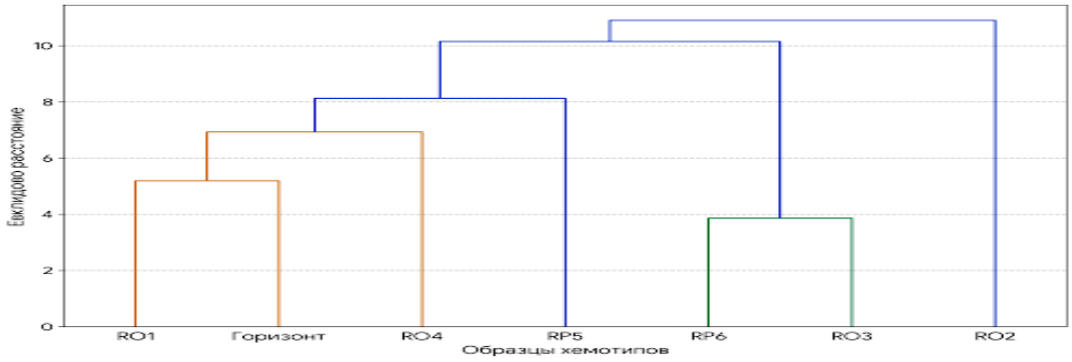


Рисунок 8 – Дендрограмма иерархического кластерного анализа хемотипов эфирного масла образцов розмарина лекарственного (метод Уорда, евклидово расстояние)

4.3 Динамика продуктивности, содержания и компонентного состава эфирного масла в течение вегетационного сезона

Изучена сезонная динамика содержания и состава эфирного масла у трех образцов (Рисунки 9 и 10). У RO1 массовая доля масла возрастала к осеннему цветению и достигала около 0,8% от сырой массы; одновременно к осени существенно повышалась доля камфоры. У RO3 содержание масла достигало максимума в сентябре, а доля 1,8-цинеола возрастала до 48,5% к октябрю. RO2 на протяжении сезона сохранял характерную для него крайне низкую масличность (0,05-0,10%), несмотря на высокое содержание борнеола и камфоры в составе выделенного масла. Это свидетельствует о том, что для хозяйственной оценки необходимо учитывать одновременно и выход масла, и его компонентный профиль.

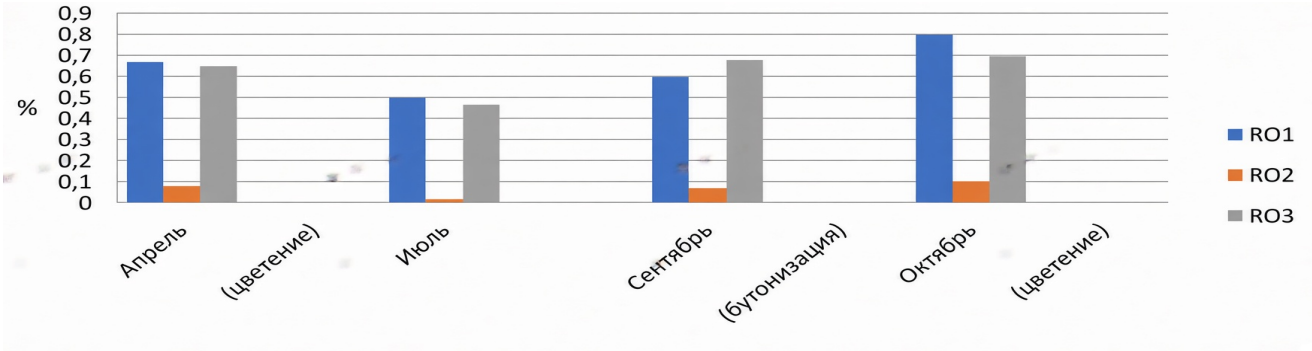


Рисунок 9 – Динамика содержания эфирного масла у образцов розмарина лекарственного (2017 г.)

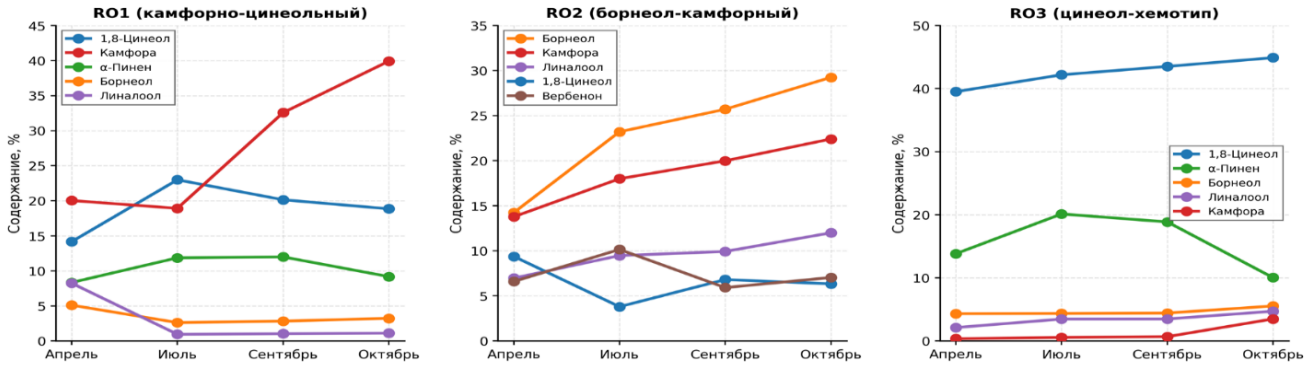


Рисунок 10 – Динамика содержания основных компонентов эфирного масла образцов розмарина лекарственного в течение вегетационного периода (2017 г.)

4.4 Новые сорта и перспективные сортообразцы розмарина лекарственного

На основе комплексной оценки хозяйственно ценных признаков изученных образцов розмарина лекарственного созданы два сорта: образец RO1 ′Новый Горизонт′ эфиромасличного направления (урожайность до 80 ц/га, содержание эфирного масла 0,80-0,98% от сырой массы, камфорно-цинеольный хемотип эфирного масла) и образец RO2 ′Аметист′ пряно-ароматического направления (урожайность до 100 ц/га, содержание эфирного масла 0,03-0,10%, борнеолово-камфорный хемотип эфирного масла). Выделены два перспективных сортообразца: RO3 с промышленным цинеольным хемотипом эфирного масла (1,8-цинеол 37,48-48,54%, борнеол 3,78-9,61%) и RP5 с эфирным маслом пиненово-вербенонового хемотипа (α-пинен 26,7-27,0%, вербенон 9,2-11,4%, 1,8-цинеол 12,6-12,9%), представляющий интерес для использования в косметологии и медицине.

Таким образом, созданные сорта и выделенные сортообразцы имеют разное целевое назначение, что обосновывает целесообразность дифференцированного отбора сортового материала по продуктивности, содержанию и компонентному составу эфирного масла в зависимости от целевого назначения растительного сырья.

ГЛАВА 5 БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ СЫРЬЯ РОЗМАРИНА ЛЕКАРСТВЕННОГО

Антимикробный потенциал розмарина может реализовываться в различных типах препаратов и определяется комплексом специализированных метаболитов. Одной из основных задач исследований было изучение антимикробной активности эфирного масла и различных вариантов экстрактов (водный, спиртовый, CO_2) из сырья розмарина в связи с ростом антибиотикорезистентности и необходимостью поиска дополнительных источников биологически активных субстанций.

5.1 Антимикробная активность эфирного масла розмарина лекарственного

Установлена высокая антимикробная активность 100% эфирного масла сортов ′Новый Горизонт′ и ′Аметист′ в отношении *Staphylococcus aureus* и *Escherichia coli* (Таблица 5). При снижении концентрации масла высокая активность была обнаружена у эфирного масла с высоким содержанием пинена и камфоры (образцы RP5 и RP6).

Таблица 5 – Антибактериальная активность эфирного масла образцов розмарина лекарственного в отношении штаммов *Staphylococcus aureus* и *Escherichia coli*

Образец	Диаметр зон задержки роста, мм, M ± SD, n=3					
	100% эфирное масло		5% эфирное масло			
	разведение тест-объектов					
	10^{-3}		10^{-3}		10^{-4}	
	Staphylococcus aureus	*Escherichia coli*	*Staphylococcus aureus*	*Escherichia coli*	*Staphylococcus aureus*	*Escherichia coli*
′Горизонт′ (к)	10,5 ± 1,3	22,0±2,6	7,5±0,6	11,5±3,0	9,0±0,0	10,5±1,7
′Новый Горизонт′	ПП	20,8±2,2	8,3±2,5	11,0±5,1	7,0±0,0	14,3±1,9
′Аметист′	ПП	15,5±1,7	7,0±0,0	9,0±0,0	9,3±2,5	10,0±0,0
RO3	12,0 ± 2,2	19,5±3,4	13,0±0,0	11,0±0,0	8,5±1,0	15,0±0,0
RO4	15,3 ± 5,7	10,3±3,3	6,0±0,0	9,5±0,6	8,3±1,3	18,8±1,5
RP5	ПП	15,5±1,0	10,0±0,0	10,0±0,0	ПП	16,3±2,5
RP6	15,0 ± 0,0	16,0±1,4	8,8±1,5	13,3±3,9	ПП	14,0±1,8

Примечание. *ПП – полное подавление видимого роста*

Минимальная МИК в отношении *S. aureus* составила 0,039% для RP5 и RP6, в отношении *E. coli* – 1,25% для сортов ′Новый Горизонт′ и ′Горизонт′ и RP6; для RO3 МИК в отношении *E. coli* превышала 2,5% (Таблица 6).

Таблица 6 – Минимальные ингибирующие концентрации эфирного масла розмарина лекарственного (% об./об., M ± SD, n=3)

Образец	Хемотип	*Staphylococcus aureus*	*Escherichia coli*
′Горизонт′ (к)	камфорно-цинеольный	1,250±0,000	1,250±0,000
′Новый Горизонт′	камфорно-цинеольный	0,156±0,000	1,250±0,000
′Аметист′	борнеольно-камфорный	0,625±0,000	2,500±0,000
RO3	цинеольно-пиненовый	0,625±0,000	2,500±0,000
RO4	камфорно-цинеольный с пиненом	0,312±0,011	>2,5
RP5	пиненово вербеновый	0,039±0,000	2,500±0,000
RP6	цинеольно-борнеольный	0,039±0,000	1,250±0,000

Примечание. *Значения МИК определяли при конечной концентрации бактериального инокулюма ~5×10^5 КОЕ/мл согласно рекомендациям CLSI (Clinical and Laboratory Standards Institute, 2015a) и представляли как M ± SD (n = 3). Если ингибирование роста не достигалось при максимальной исследованной конечной концентрации эфирного масла 2,5% (об./об.), результат регистрировали как >2,5%*

5.2 Гидролат розмарина лекарственного, состав и антимикробная активность

Изучен компонентный состав и антимикробная активность гидролата – водного дистиллята, образующегося при гидродистилляции растительного сырья – розмарина сорта ′Новый Горизонт′. Установлено, что в составе гидролата преобладают камфора, 1,8-цинеол, вербенон, эндо-борнеол и альфа-терпинеол, что соответствует их соотношению в эфирном масле; массовая доля эфирного масла в гидролате составляет 0,205%, pH – 4,1. Наиболее выраженная антимикробная активность гидролата отмечена в отношении *Candida albicans*: при разведении 1 к 1 ингибирование роста составляло почти 90%. В отношении *Escherichia coli* и *Staphylococcus aureus* этот показатель был несколько ниже. При разведении активность закономерно снижалась.

5.3 Экстракты розмарина лекарственного, антимикробная и антигрибковая активность

Установлено, что водный и спиртовой экстракты из сырья розмарина лекарственного сорта ′Горизонт′ проявляют умеренную антимикробную активность в отношении биолюминесцентных тест-штаммов *Aliivibrio fischeri*. Спиртовое извлечение (70% этанол) эффективнее водного: $ЭР_{50}$ составило 1:100 против 1:25 для *A. fischeri* F1 и *Escherichia coli* MG1655 (Xen′::lux) соответственно (Гавриченко и др., 2022).

Доказана высокая противогрибковая активность CO_2-экстрактов сортов розмарина ′Новый Горизонт′ и ′Аметист′ в отношении шести штаммов *Candida:* экстракта сорта ′Новый Горизонт′ камфорно-цинеольного хемотипа - в отношении *Candida tropicalis*. Экстракт сорта ′Аметист′ борнеольно-камфорного хемотипа характеризовался более широким и выраженным действием по большинству исследованных штаммов (Никитина и др., 2025).

Выявлено, что в CO_2-экстракте из сырья сорта ′Новый Горизонт′, полученного промышленным сверхкритическим флюидным методом, содержится 1285,2 мг/100 г розмариновой кислоты (88% всех фенольных соединений), а его антимикробная активность зависит от растворителя-носителя (виноградная косточка и пропиленгликоль). Установлена умеренная активность CO_2-экстракта с пропиленгликолем в отношении *Staphylococcus aureus* и *Candida albicans* (Феськов и др., 2026).

Проведённое исследование позволило охарактеризовать фенольную составляющую сверхкритического CO_2-экстракта розмарина лекарственного сорта ′Новый горизонт′ селекции НБС-ННЦ и установить его антимикробную активность. Суммарное содержание четырёх количественно определённых фенольных соединений составило 1456,6 мг/100 г экстракта. Доминировала розмариновая кислота – 1285,2 мг/100 г, или 88,23% их суммы; содержание лютеолин-7-О-глюкозида, кофейной и хлорогеновой кислот составляло соответственно 116,6; 43,4 и 11,4 мг/100 г. Выраженное преобладание розмариновой кислоты позволяет рассматривать её как перспективный количественный маркер исследуемого экстракта.

Антимикробная активность зависела от используемого носителя. В композиции на основе пропиленгликоля зоны ингибирования составляли 20 мм для *Candida albicans*, 18 мм для *Staphylococcus aureus* и 11 мм для *Pseudomonas aeruginosa*. В композиции на основе масла виноградных косточек активность сохранялась только в отношении *S. aureus* и составляла 12 мм. Таким образом, пропиленгликолевая форма обеспечивала наиболее широкий и выраженный антимикробный эффект (Таблица 7).

Таблица 7 - Антимикробная активность CO_2-экстракта розмарина лекарственного сорта ′Новый горизонт′ в зависимости от носителя

Тест-культура	Масло виноградных косточек, мм	Оценка	Пропилен-гликоль, мм	Оценка
Staphylococcus aureus ATCC 25923	12	I	**18**	S
Candida albicans CCM 885	0	R	**20**	S
Pseudomonas aeruginosa	0	R	**11**	I

Примечание. *R – 0-10 мм, отсутствие чувствительности; I – 11-15 мм, слабая чувствительность; S – 16-20 мм, умеренная чувствительность. Указанные обозначения характеризуют принятую в настоящей работе скрининговую градацию антимикробной активности и не являются клиническими категориями чувствительности EUCAST или CLSI. В качестве носителей использовали масло виноградных косточек и пропиленгликоль*

Сопоставление с опубликованными данными подтверждает характерную более высокую чувствительность *S. aureus* к препаратам розмарина по сравнению с *P. aeruginosa*. Зарегистрированная для *C. albicans* зона ингибирования 20 мм находится в пределах ранее опубликованного диапазона 15,3-32,1 мм для CO_2-экстрактов различных форм розмарина. Полученные результаты свидетельствуют о связи антимикробного потенциала экстракта с его многокомпонентным фитохимическим профилем и подчёркивают существенное значение носителя для реализации биологической активности.

Таким образом, сравнительное исследование эфирного масла, гидролата, водных, спиртовых и CO_2-экстрактов розмарина лекарственного выявило различия их антимикробной и противогрибковой активности в отношении использованных тест-организмов. Выраженность ингибирующего действия зависела от вида исследуемого препарата, его концентрации, условий испытания и, для CO_2-экстракта, применённого носителя. Установленные особенности биологической активности в сочетании с данными о химическом составе позволяют обосновать перспективность дифференцированного отбора растительного сырья и продуктов его переработки для дальнейшего изучения в качестве источников биологически активных веществ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Многолетние фенологические наблюдения установили, что в условиях Южного берега Крыма розмарин лекарственный сохраняет жизненную форму вечнозелёного кустарника с практически непрерывной вегетацией и двумя периодами цветения: весенним и осенним. Выявлена выраженная межгодовая и межобразцовая изменчивость сроков

наступления и продолжительности генеративных фаз, включая бутонизацию, цветение и плодоношение. Наиболее заметные колебания сроков прохождения фенологических фаз наблюдались при изменении погодных условий отдельных лет, что свидетельствует о пластичности сезонного ритма развития исследованных образцов в условиях ЮБК.

Выявлена выраженная внутривидовая морфологическая изменчивость: высота растений составляет 62,1-132,0 см, диаметр куста – 74,8-122,5 см, форма варьирует от раскидистой до стелющейся, окраска венчика – от белой до фиолетово-голубой. Длина листьев составляет 19-35 мм, ширина – 1,9-3,7 мм. Различия габитуса и генеративных признаков обосновывают дифференцированный подбор форм для декоративного садоводства, включая использование прямостоячих и полупрямостоячих растений в групповых посадках, а стелющихся – в почвопокровном озеленении.

В анатомическом строении листьев установлен комплекс ксероморфных признаков: завёрнутые края листовой пластинки, формирующие защищённые полости с устьицами, развитая кутикула, гиподерма, механические ткани и густое опушение. Гистохимически выявлена локализация липофильных веществ преимущественно в пельтатных железках и отдельных структурах мезофилла. Совокупность морфолого-анатомических особенностей характеризует приспособленность вида к периодическому дефициту влаги и подтверждает биологические предпосылки его культивирования в климатических условиях ЮБК.

Продуктивность надземной массы исследованных образцов составляет 420-1200 г/растение, содержание эфирного масла – 0,06-0,83% от сырой массы. Максимальной продуктивностью характеризуется RO1 (1200,0±90,0 г/растение), превосходящий контрольный сорт ′Горизонт′ на 20,6%, при содержании эфирного масла 0,83±0,06%. У RO2 установлен минимальный показатель масличности (0,06±0,02%). Выявленные различия позволяют выделить RO1 как перспективный исходный материал для селекции на продуктивность и содержание эфирного масла, тогда как использование RO2 для эфиромасличного направления ограничивается низким выходом масла.

В эфирном масле исследованных образцов идентифицировано 27 компонентов, составляющих 89-97% его состава. На основании компонентного состава, анализа главных компонент и кластеризации выделены четыре хемотипические группы: цинеольная (RO3, RP6), камфорно-цинеольная (′Горизонт′, RO1, RO4), борнеолово-камфорная (RO2) и пиненово-вербеноновая (RP5). Установленная хемотипическая изменчивость определяет возможность целенаправленного отбора растительного сырья с различным соотношением основных компонентов эфирного масла в зависимости от предполагаемого использования. Изучение сезонной динамики показало увеличение содержания эфирного масла у исследованных образцов к осеннему периоду, что имеет практическое значение для определения сроков заготовки сырья.

На основе комплексной оценки хозяйственно ценных признаков созданы сорта ′Новый Горизонт′ эфиромасличного направления (урожайность до 80 ц/га, содержание эфирного масла 0,80-0,98%, камфорно-цинеольный хемотип) и ′Аметист′ пряно-ароматического направления (содержание эфирного масла 0,03-0,10%, борнеолово-камфорный хемотип). Выделены перспективные сортообразцы RO3 с цинеольным хемотипом (1,8-цинеол 37,48-48,54%) и RP5 с пиненово-вербеноновым хемотипом (α-пинен 26,7-27,0%, вербенон 9,2-11,4%). Таким образом, установлены предпосылки специализированного возделывания сортов и сортообразцов для получения эфиромасличного и пряно-ароматического сырья с заданными характеристиками.

Установлено наличие в растительном сырье фенольных соединений, включая розмариновую кислоту, обладающих значением для оценки его биохимической ценности. Исследование антимикробной активности эфирного масла показало зависимость ингибирующего действия от химического профиля, концентрации препарата и величины бактериального инокулюма. Минимальная ингибирующая концентрация в отношении

Staphylococcus aureus составила 0,039% для RP5 и RP6, в отношении *Escherichia coli* – 1,25% для сортов ′Горизонт′, ′Новый Горизонт′ и RP6. Полученные результаты позволяют выделять перспективные образцы для дальнейшего исследования антимикробных растительных субстанций.

Показана биологическая активность продуктов переработки сырья розмарина лекарственного. Гидролат сорта ′Новый Горизонт′ проявлял ингибирующее действие в отношении *Candida albicans*, *E. coli* и *S. aureus*. Установлена активность водных и спиртовых извлечений, а также противогрибковое действие CO_2-экстрактов сортов ′Аметист′ и ′Новый Горизонт′ в отношении исследованных штаммов рода *Candida*. В сверхкритическом CO_2-экстракте определено 1456,6 мг/100 г четырёх фенольных соединений, в том числе 1285,2 мг/100 г розмариновой кислоты. Выявленная биологическая активность *in vitro* обосновывает перспективность дальнейшего изучения указанных препаратов как потенциальных источников антимикробных компонентов.

Установлено, что низкая лабораторная всхожесть семян (3-7%) ограничивает эффективность семенного размножения. Для сохранения хозяйственно ценных характеристик отобранных форм обосновано применение вегетативного размножения черенками. С учётом сезонной динамики накопления биологически активных веществ определены дифференцированные сроки заготовки сырья: преимущественно октябрь для получения эфирного масла и летний период для пряно-ароматического использования.

Таким образом, комплексная хозяйственно-биологическая оценка розмарина лекарственного позволила научно обосновать основные направления его использования в условиях Южного берега Крыма: декоративное садоводство – на основе морфологического разнообразия, сезонного развития и ксероморфных особенностей; эфиромасличное и пряно-ароматическое растениеводство – с учётом продуктивности, хемотипической принадлежности и сроков накопления эфирного масла; получение перспективных лекарственных растительных субстанций – на основании содержания фенольных соединений и экспериментально установленной биологической активности сырья. Полученные результаты определяют критерии дифференцированного отбора сортов и сортообразцов, формируют научную основу совершенствования их возделывания и расширения направлений практического использования розмарина лекарственного на ЮБК.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

На основании проведённых исследований для получения эфирного масла и медицинского применения наиболее перспективен сорт розмарина лекарственного ′Новый Горизонт′ (RO1), сочетающий высокую продуктивность надземной массы (1200 г с куста) с содержанием масла 0,83% на сырую массу. Для пряно-ароматических целей выделен сорт ′Аметист′ (RO2), который при невысоком содержании масла характеризуется ценными органолептическими свойствами и повышенным содержанием нелетучих фенольных соединений.

Установлены различия в компонентном составе масла, определяющие дифференциацию медицинского применения. Сорт ′Новый Горизонт′ эффективен против *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* и грибов рода *Candida*; его целесообразно использовать для разработки антибактериальных и противогрибковых фитопрепаратов, особенно в композиции с пропиленгликолем. Сорт ′Аметист′ проявляет выраженную активность против *S. aureus*, *E. coli* и широкого спектра штаммов *Candida* и рекомендуется для создания противогрибковых средств широкого спектра действия. Образцы RP5 и RP6 эффективны против *S. aureus* и *E. coli* и могут применяться в антибактериальных препаратах, в том числе при сниженных концентрациях масла. Сорта ′Новый Горизонт′ и ′Аметист′ являются приоритетными для разработки фитопрепаратов антибактериального и противогрибкового направления, в том числе в рамках решения проблемы

антибиотикорезистентности; RP5 и RP6 служат дополнительными источниками для антибактериальных композиций.

Сбор сырья в фазу массового цветения с последующим определением хемотипа позволяет направленно использовать конкретные образцы коллекции в зависимости от их биологической активности. Для экстракции эфирного масла сырьё собирают в фазу массового цветения (выход сырого масла 0,8-1,0% от сырой массы, у отдельных форм 0,2-3%); именно в этот период формируется характерный компонентный состав масла (камфорный, цинеольный, борнеол-камфорный или пиненовый). Для пряно-ароматических целей заготовку лучше производить в июле-августе, до начала цветения (молодые побеги). Уборку товарных насаждений начинают с третьего-четвёртого года после посадки. Бицикличное цветение на ЮБК (весенняя волна – конец апреля – начало мая, осенняя – сентябрь-октябрь) позволяет дифференцировать сроки уборки в зависимости от целевого назначения сырья.

Основной способ размножения – черенкование (сентябрь-октябрь и апрель-май) полуодревесневшими побегами длиной 8-10 см с 3-4 междоузлиями; укореняемость 60-85%. Плантации закладывают на склонах южной и юго-западной экспозиции с хорошим водоотводом по схеме 1,5×1 м. Подготовка почвы включает очистку от сорняков, внесение органических и минеральных удобрений, подъём плантажа на 60-70 см; в июне вносят 5-6 ц/га суперфосфата. Основную опасность представляет переувлажнение (корневые гнили, выпревание), профилактика – дренаж, водоотвод и умеренный полив. Регулярная обрезка стимулирует кущение, но следует избегать сильного оголения одревесневших частей.

Для декоративного использования выделены низкорослые формы RO4 и RP6 с различными оттенками лилово-голубой окраски венчика, а также RP5 (*Rosmarinus officinalis* var. *prostratus*) – стелющийся куст с голубовато-фиолетовыми цветками и наибольшим диаметром кроны, перспективный для почвопокровного озеленения. Белоцветковые высокорослые ′Горизонт′ и RO1 (′Новый Горизонт′) также пригодны для ландшафтных композиций. Мощная стержневая корневая система и густая надземная часть обеспечивают высокую почвозащитную ценность: розмарин эффективно закрепляет крутые южные склоны, снижая поверхностный сток и предотвращая эрозию.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК РФ по специальности 4.1.4.

1. **Феськов С.А.** Хемотипическая вариабельность и антибактериальная активность эфирного масла розмарина лекарственного при различных концентрациях и уровнях бактериального инокулюма / **С.А. Феськов**, З.Л. Дзыццоева, В.С. Гаппоева, Д.А. Марзоева, И.В. Бернадский, О.М. Шевчук // Бюллетень ГНБС. – 2026а. – Вып. 160. – С. 178-193.

Публикации и в рецензируемых изданиях, входящих в международные реферативные базы данных и системы цитирования

2. Белопухов С.Л. Динамика накопления и компонентного состава эфирного масла розмарина (*Rosmarinus officinalis* L.), произрастающего на Южном берегу Крыма / С.Л. Белопухов, Л.А. Хлыпенко, О.М. Шевчук, **С.А. Феськов**, Л.Б. Дмитриев, В.Л. Дмитриева // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2017. – № 6. – С. 129-140.

3. Плугатарь Ю.В. Перспективы использования *Rosmarinus officinalis* L. как пряности на Южном берегу Крыма / Ю.В. Плугатарь, Л.А. Хлыпенко, **С.А. Феськов**, О.М. Шевчук, Н.В. Марко, Л.Б. Дмитриев // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2017. – № 67. – С. 179-184.

4. Marko N. Aromatic and medicinal plants diversity in the Nikita Botanical Gardens /

N. Marko, O. Shevchuk, L. Logvinenko, **S. Feskov** // Acta Horticulturae. – 2021. – Vol. 1324. – P. 165-171.

5. Marko N.V. Chemotypic diversity of *Rosmarinus officinalis* L. in the collection of the Nikita Botanical Gardens / N.V. Marko, O.M. Shevchuk, **S.A. Feskov**, L.A. Khlypenko, L.B. Dmitriev // Acta Horticulturae. – 2020. – Vol. 1287. – P. 111-116.

Авторские свидетельства и патенты

6. Феськов С.А., Хлыпенко Л.А., Шевчук О.М. Розмарин лекарственный Аметист: авт. свид. № 79574 Рос. Федерация; заявл. 01.11.2019; опубл. 11.03.2021 / патентообладатель ФГБУН «Ордена Трудового Красного Знамени Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН». Патент на селекционное достижение №11442 Российская Федерация. Розмарин лекарственный Аметист: заявка: № 79573 от 01.11.2019: опубл. 11.03.2021 / С.А. Феськов, Л.А. Хлыпенко, О.М. Шевчук; заявитель Федеральное государственное бюджетное учреждении науки «Никитский ботанический сад – Национальный научный цент РАН».

7. Феськов С.А., Хлыпенко Л.А., Шевчук О.М. Розмарин лекарственный Новый Горизонт: авт. свид. № 86489 Рос. Федерация; заявл. 27.05.2022; опубл. 13.07.2023 / патентообладатель ФГБУН «Ордена Трудового Красного Знамени Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН». Патент на селекционное достижение №12935 Российская Федерация. Розмарин лекарственный Новый Горизонт: заявка: № 86488 от 27.05.2022: опубл. 13.07.2021 / С.А. Феськов, Л.А. Хлыпенко, О.М. Шевчук; заявитель Федеральное государственное бюджетное учреждении науки «Никитский ботанический сад – Национальный научный цент РАН».

Публикации в иных изданиях

8. Хлыпенко Л.А. О качестве эфирного масла *Rosmarinus officinalis* L., произрастающего на Южном берегу Крыма / Л.А. Хлыпенко, О.М. Шевчук, Н.Н. Бакова, **С.А. Феськов** // Сборник научных трудов Государственного Никитского ботанического сада. – 2015. – Т. 141. – С. 118-126.

9. Хлыпенко Л.А. Малораспространенные ароматические растения как источник эфирных масел широкого спектра действия / Л.А. Хлыпенко, Л.А. Логвиненко, О.М. Шевчук, **С.А. Феськов**, Н.В. Марко // Сборник научных трудов Государственного Никитского ботанического сада. – 2015. – Т. 141. – С. 110-117.

10. Марко Н.В. Создание экспозиции из ароматических и лекарственных растений / Н.В. Марко, О.И. Князева, Л.А. Хлыпенко, **С.А. Феськов**, М.Л. Новицкий, Т.И. Орёл // Субтропическое и декоративное садоводство. – 2017. – № 62. – С. 232-241.

11. Никитина А.С. Изучение фенольных соединений листьев розмарина лекарственного (*Rosmarinus officinalis* L.) из коллекции Никитского ботанического сада / А.С. Никитина, **С.А. Феськов**, Е.Р. Гарсия, А.А. Шамилов, Н.В. Никитина // Сборник научных трудов Государственного Никитского ботанического сада. – 2018. – Т. 146. – С. 201-204.

12. Гавриченко Ю.Ю. Скрининг антимикробной активности водных и спиртовых извлечений из растительного сырья с использованием биолюминесцентных бактерий / Ю.Ю. Гавриченко, С.Л. Сафронюк, А.М. Кацев, О.М. Шевчук, Л.А. Логвиненко, **С.А. Феськов** // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация. – 2022. – № 1. – С. 60-69.

13. Никитина А.С. Противогрибковая активность CO_2-экстрактов из надземной части форм *Rosmarinus officinalis* L. / А.С. Никитина, Е.О. Сергеева, О.И. Папаяни, А.М. Алиев, **С.А. Феськов**, Н.В. Никитина // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. – 2025. – Т. 24, № S6. – С. 235.

14. **Феськов С.А**. Антимикробная активность CO_2-экстракта розмарина лекарственного сорта ′Новый горизонт′ / **С.А. Феськов**, Т.П. Сатаева, О.Н. Постникова,

Н.Н. Бакова, А.С. Новосад, А.В. Паштецкая, О.М. Шевчук // Биология растений и садоводство: теория, инновации. – 2026б. – №3(18). – С. 130-148.

Монографии

15. Марко Н.В. Аннотированный каталог ароматических и лекарственных растений коллекции Никитского ботанического сада / Н.В. Марко, Л.А. Логвиненко, О.М. Шевчук, **С.А. Феськов**. – Симферополь, 2018 – 176 с.

Результаты диссертационных исследований представлены на международных и всероссийских научных конференциях:

16. Marko N.V. Chemotypic diversity of *Rosmarinus officinalis* L. in the collection of the Nikitsky Botanical Gardens / N.V. Marko, O.M. Shevchuk, L.A. Khlypenko, **S.A. Feskov**, L.B. Dmitriev // 30th International Horticultural Congress, Istanbul, 12–16 August 2018. – International Symposium on Advances in Production and Processing of Medicinal and Aromatic Plants. – 2018. – OS 5.

17. Марко Н.В. Биологическое разнообразие ароматических и лекарственных растений в Никитском ботаническом саду / Н.В. Марко, О.М. Шевчук, Л.А. Логвиненко, **С.А. Феськов** // Биотехнология как инструмент сохранения биоразнообразия растительного мира (физиолого-биохимические, эмбриологические, генетические и правовые аспекты : Материалы VIII Международной научно-практической конференции, Ялта, 1–5 октября 2018 г. – Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2018. – С. 62-63.

18. Никитина А.С. Фенилпропаноиды эфиромасличных лекарственных растений из коллекции Никитского ботанического сада и перспективы их использования / А.С. Никитина, Н.В. Никитина, Е.Р. Гарсия, С.А. Нигарян, **С.А. Феськов**, Л.А. Логвиненко, А.А. Шамилов, Н.М. Червонная // Сборник материалов XXV Российского национального конгресса «Человек и лекарство». Тезисы докладов, Москва, 09–12 апреля 2018 года. – Москва: ООО "Видокс", 2018. – С. 79-80.

19. **Феськов С.А.** Сравнительные исследования показателей качества форм *Rosmarinus officinalis* L. коллекции Никитского ботанического сада / **С.А. Феськов**, Р. Хуссаини, А.С. Никитина // Беликовские чтения: Материалы VII Всероссийской научно-практической конференции, Пятигорск, 04–05 декабря 2018 года. – Пятигорск: Пятигорский медико-фармацевтический институт - филиал федерального бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Волгоградский государственный медицинский университет" Министерства здравоохранения Российской Федерации, 2019. – С. 479-486.

20. Хлыпенко Л.А. Малораспространенные ароматические растения как источник эфирных масел широкого спектра действия / Л.А. Хлыпенко, Л.А. Логвиненко, О.М. Шевчук, **С.А. Феськов**, Н.В. Марко // Аромакоррекция психофизического состояния человека : Материалы V Международной научно-практической конференции, Ялта, 27–29 октября 2015 года. – Ялта: ИП Цветков С.Л., 2015. – С. 57-59.

21. Шевчук О.М. Коллекция ароматических и лекарственных растений Никитского ботанического сада как база селекционных и генетических исследований / О.М. Шевчук, Т.М. Сахно, Л.А. Логвиненко, **С.А. Феськов** // Коллекции как основа изучения генетических ресурсов растений и грибов: тезисы докладов всероссийской конференции (в рамках Первого научного форума «Генетические ресурсы России», 21–24 июня 2022 г.). – Санкт-Петербург, 2022. – С. 59.