Оригинальная статья / Research article

УДК 615.074

https://doi.org/10.33380/2305-2066-2025-14-3-2122

Check for updates

CC BY 4.0

Исследование сезонных вариаций компонентного состава эфирного масла розмарина лекарственного дагестанского происхождения

Р. Э. Ермаченков[1]✉, А. Л. Марков[1], М. М. Агаев[1], А. М. Алиев[2], М. Н. Повыдыш[1], И. И. Тернинко[1]

[1] Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный химико-фармацевтический университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации (ФГБОУ ВО СПХФУ Минздрава России). 197022, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, д. 14, литера А

[2] Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Горный ботанический сад Дагестанского научного центра Российской академии наук (Горный ботанический сад ДНЦ РАН). 367000, Россия, Республика Дагестан, г. Махачкала, ул. Ярагского, д. 75

✉ **Контактное лицо:** Ермаченков Роман Энверович. **E-mail:** ermachenkov.roman@pharminnotech.com

ORCID: Р. Э. Ермаченков – https://orcid.org/0009-0006-7785-7143;
А. Л. Марков – https://orcid.org/0009-0006-4995-8529;
М. М. Агаев – https://orcid.org/0009-0007-8026-2981;
А .М. Алиев – https://orcid.org/0000-0002-2181-1801;
М. Н. Повыдыш – https://orcid.org/0000-0002-7768-9059;
И. И. Тернинко – https://orcid.org/0000-0002-2942-1015.

Статья поступила: 16.06.2025 **Статья принята в печать:** 22.07.2025 **Статья опубликована:** 25.07.2025

Резюме

Введение. Сведения о сезонной вариабельности эфирных масел имеют ключевое значение при определении сезонов заготовки: вариации компонентного состава должны быть минимальны, а диапазоны концентраций должны соответствовать установленным в нормативной документации, при этом должен наблюдаться максимально возможный выход эфирного масла. Розмарин лекарственный произрастает на юге Российской Федерации (Республика Крым, Кавказ), при этом хроматографический профиль его эфирного масла не закреплен в нормативной документации, а в русскоязычной научной литературе отсутствуют исследования сезонных вариаций компонентного состава эфирного масла несмотря на то, что в Республике Дагестан розмарин лекарственный цветет практически круглогодично.

Цель. Изучение сезонных вариаций эфирного масла розмарина лекарственного дагестанского происхождения.

Материалы и методы. Оценка содержания эфирного масла проводилась в соответствии с требованиями Европейской фармакопеи 11 издания путем гидродистилляции с использованием аппарата Клевенджера. Газохроматографический анализ проводился с использованием газового хроматографа «Кристалл 5000.2», оснащенного пламенно-ионизационным детектором, разделение проводилось на колонках с неподвижной фазой различной полярности: HP-5MS UI и DB-WAX. Идентификация компонентов проводилась путем сравнения расчетных линейных индексов удерживания, полученных на двух колонках различной полярности, со справочными значениями.

Результаты и обсуждение. Содержание эфирного масла розмарина лекарственного в растительном сырье составляет от 2,06 до 2,24 %. Статистический анализ не выявил значимых различий между результатами, полученными в течение эксперимента. По итогам газохроматографического анализа удалось установить α-пиненовый хемотип эфирного масла дагестанского происхождения. В образцах эфирных масел было идентифицировано 30 соединений, составляющих не менее 95 % от их состава. При интерпретации результатов статистической обработки содержания компонентов в зависимости от даты сбора сырья для большинства мажоритарных компонентов отмечены значимые различия.

Заключение. В ходе исследования был впервые описан компонентный состав эфирного масла розмарина лекарственного (*Salvia rosmarinus* Spenn., seu *Rosmarinus officinalis* L.) дагестанского происхождения. Обнаруженные в ходе исследования статистически значимые различия содержания компонентов в зависимости от даты сбора растительного сырья могут быть использованы для хроматографического профилирования эфирного масла розмарина дагестанского происхождения. Такой подход позволит не только отразить географическую вариабельность компонентного состава, но и сезонную.

Ключевые слова: *Salvia rosmarinus*, розмарин лекарственный, эфирные масла, сезонная вариабельность, хроматографический профиль, газовая хроматография

© Ермаченков Р. Э., Марков А. Л., Агаев М. М., Алиев А. М., Повыдыш М. Н., Тернинко И. И., 2025
© Ermachenkov R. E., Markov A. L., Agaev M. M., Aliev A. M., Povydysh M. N., Terninko I. I., 2025

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Вклад авторов. Р. Э. Ермаченков отвечал за выполнение эксперимента, обработку, интерпретацию данных и формулирование выводов. А. Л. Марков и М. М. Агаев принимали участие в выполнении эксперимента. А. М. Алиев принимал участие в планировании эксперимента, предоставил исследуемые образцы растительного сырья. М. Н. Повыдыш произвела ботаническую идентификацию растительного сырья. И. И. Тернинко принадлежит идея и планирование эксперимента, редактирование рукописи.

Финансирование. Результаты работы получены с использованием оборудования ЦКП «Аналитический центр ФГБОУ ВО СПХФУ Минздрава России».

Для цитирования: Ермаченков Р. Э., Марков А. Л., Агаев М. М., Алиев А. М., Повыдыш М. Н., Тернинко И. И. Исследование сезонных вариаций компонентного состава эфирного масла розмарина лекарственного дагестанского происхождения. *Разработка и регистрация лекарственных средств*. 2025;14(3):124–136. https://doi.org/10.33380/2305-2066-2025-14-3-2122

Study of seasonal variations in the component composition of essential oil of rosemary of Dagestan origin

Roman E. Ermachenkov[1]✉, Andrey L. Markov[1], Musafir M. Agaev[1], Aslan M. Aliev[2], Maria N. Povydysh[1], Inna I. Terninko[1]

[1] Saint-Petersburg State Chemical and Pharmaceutical University. 14A, Prof. Popova str., Saint-Petersburg, 197022, Russia
[2] Mountain Botanical Garden of the Dagestan Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences. 75, Yaragskogo str., Makhachkala, Republic of Dagestan, 367000, Russia

✉ **Corresponding author:** Roman E. Ermachenkov. **E-mail:** ermachenkov.roman@pharminnotech.com

ORCID: Roman E. Ermachenkov – https://orcid.org/0009-0006-7785-7143;
Andrey L. Markov – https://orcid.org/0009-0006-4995-8529;
Musafir M. Agaev – https://orcid.org/0009-0007-8026-2981;
Aslan M. Aliev – https://orcid.org/0000-0002-2181-1801;
Maria N. Povydysh – https://orcid.org/0000-0002-7768-9059;
Inna I. Terninko – https://orcid.org/0000-0002-2942-1015.

Received: 16.06.2025 **Accepted:** 22.07.2025 **Published:** 25.07.2025

Abstract

Introduction. Information on the seasonal variability of essential oils has a key decision in determining the seasons of harvesting: the variation of component composition should be minimal, and the concentration ranges should correspond to those established in the regulatory documentation, while the maximum possible yield of essential oil should be observed. Rosemary grows in the south of the Russian Federation (the Republic of Crimea, the Caucasus) and the chromatographic profile of its essential oil is not fixed in the regulatory documentation, and in the Russian-language scientific literature there are no studies of seasonal variations in the component composition of essential oil, despite the fact that in the Republic of Dagestan rosemary blooms almost year-round.

Aim. Study of seasonal variations in the essential oil of the rosemary of Dagestan origin.

Materials and methods. Estimation of essential oil content was carried out in accordance with the requirements of the European Pharmacopoeia 11th edition by hydrodistillation using a Clevenger apparatus. Gas chromatographic analysis was carried out using a gas chromatograph Crystal 5000.2 equipped with a flame ionization detector, separation was carried out on fixed phase columns of different polarity: HP-5MS UI and DB-WAX. The components were identified by comparing the calculated linear retention indices obtained on two columns of different polarity with reference values.

Results and discussion. The content of essential oil of rosemary in the plant raw material ranged from 2.06 to 2.24 %. Statistical analysis revealed no significant differences between the results obtained during the experiment. According to the results of gas chromatographic was able to establish α-pinene chemotype of essential oil of Dagestan origin. In the samples of essential oils 30 compounds were identified, constituting at least 95 % of their composition. When interpreting the results of statistical processing of the content of components depending on the date of collection of raw materials, significant differences were noted for the majority of major components.

Conclusion. The study was the first to describe the component composition of essential oil of rosemary (*Salvia rosmarinus* Spenn., seu *Rosmarinus officinalis* L.) of Dagestan origin. Detected during the study statistically significant differences in the content of components depending on the date of collection of plant raw materials can be used for chromatographic profiling of essential oil of rosemary of Dagestan origin. This approach will allow not only to reflect the geographical variability of the component composition, but also seasonal.

Keywords: *Salvia rosmarinus*, rosemary, essential oils, seasonal variability, chromatographic profile, gas chromatography

Conflict of interest. The authors declare that they have no obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Contribution of the authors. Roman E. Ermachenkov was responsible for the execution of the experiment, processing, interpretation of data, and formulation of conclusions. Andrey L. Markov and Musafir M. Agaev participated in the execution of the experiment. Aslan M. Aliev took part in the planning of the experiment, provided the studied samples of plant raw materials. Maria N. Povydysh performed botanical identification of plant raw materials. Inna I. Terninko is responsible for the idea and planning of the experiment, editing of the manuscript.

Funding. The results of the work were obtained using the equipment of the Center for Collective Use "Analytical Center" of the Federal State Budgetary Educational University of Higher Education SPCPU of the Ministry of Health of Russia.

For citation: Ermachenkov R. E., Markov A. L., Agaev M. M., Aliev A. M., Povydysh M. N., Terninko I. I. Study of seasonal variations in the component composition of essential oil of rosemary of Dagestan origin. *Drug development & registration*. 2025;14(3):124–136. (In Russ.) https://doi.org/10.33380/2305-2066-2025-14-3-2122

ВВЕДЕНИЕ

Розмарин (*Salvia rosmarinus* Spenn., seu *Rosmarinus officinalis* L.) – вечнозеленое растение, представитель семейства яснотковых (*Lamiaceae*), происходящее из региона Средиземноморья и произрастающее по всему миру [1, 2]. На текущий момент хорошо изучены фармакологические свойства эфирного масла розмарина: установлена выраженная антиоксидантная [3–6], противовоспалительная [2, 6], антимикробная активность [5, 6–7]. Кроме наличия выраженных фармакологических свойств, на спрос со стороны потребителей к эфирному маслу розмарина и на его промышленное производство оказывает влияние значительное накопление эфирного масла[1] в растительном сырье в сравнении с другими представителями этой группы БАВ, что напрямую влияет на экономическую составляющую.

Ключевым показателем качества эфирного масла является его хроматографический профиль. Для эфирного масла розмарина стандарт ISO 1342:2012[2] регламентирует только два различных хроматографичеких профиля: испанский и марокканский/тунисский (рисунок 1), которые характеризуются избирательным накоплением отдельных терпенов.

Представленные хроматографические профили описывают два различных хемотипа эфирного масла розмарина: камфорный (испанский вид) и цинеольный (тунисский или марокканский вид).

Хемотипическое разнообразие эфирных масел обусловлено исключительно генетическими особенностями растений [8]. При этом наблюдается парадоксальное отсутствие географической зависимости их распространения: идентичные хемотипы могут обнаруживаться у растений, произрастающих на отдаленных друг от друга территориях [9].

Помимо указанных, выделяют и другие хемотипы: *α*-пиненовый [8, 9], *n*-цимоловый [10] и вербеноновый [9].

Поскольку компонентный состав эфирных масел крайне лабилен к воздействию внешних факторов [9], более значимой задачей в контексте формулирования хроматографических профилей является не его хемотипирование, а изучение сезонной вариабельности компонентного состава. Таким образом возможно отметить динамику изменения компонентного состава эфирного масла для инициации изменений в действующие стандарты в части установления конкретного периода вегетации для заготовки сырья на определенной территории и корректного применения хемотипирования.

В таблице 1 представлена сводная характеристика результатов наиболее значимых исследований сезонной вариабельности компонентного состава эфирного масла розмарина.

Для каждого из основных компонентов эфирного масла розмарина, представленных в таблице 1, характерна значимая вариабельность содержания 1,8-цинеола [14, 17] и камфоры [11, 14], а также ее нехарактерно малое содержание [18]. Примечательна крайне высокая вариация содержания вербенона в части исследований [11, 13], тогда как в большинстве исследований он вовсе не был обнаружен [14–18]. Отмечена существенная вариация содержания борнеола [17] и мирцена [11].

Степень вариации большинства из компонентов является типичной для эфирных масел, а диапазоны концентраций близки к указанным в стандарте ISO 1342:2012. При наличии умеренной вариации компонентного состава отмечена существенная вариация выхода эфирного масла (от 0,30 до 3,6 %) в большинстве исследований в зависимости от сезона сбора растительного сырья [11, 12, 14, 16, 18].

[1] International Organization for Standardization. 1995. ISO 11164:1995 – Dried rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.). Available at: https://cdn.standards.iteh.ai/samples/19174/718e5f3e11fe43ffadcbd4d147ce3289/ISO-11164-1995.pdf. Accessed: 16.06.2025.

[2] International Organization for Standardization. 2012. ISO 1342:2012 – Essential oil of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.). Available at: https://cdn.standards.iteh.ai/samples/56521/d6431fc1e2d4456a83ee89692df23077/ISO-1342-2012.pdf. Accessed: 16.06.2025.

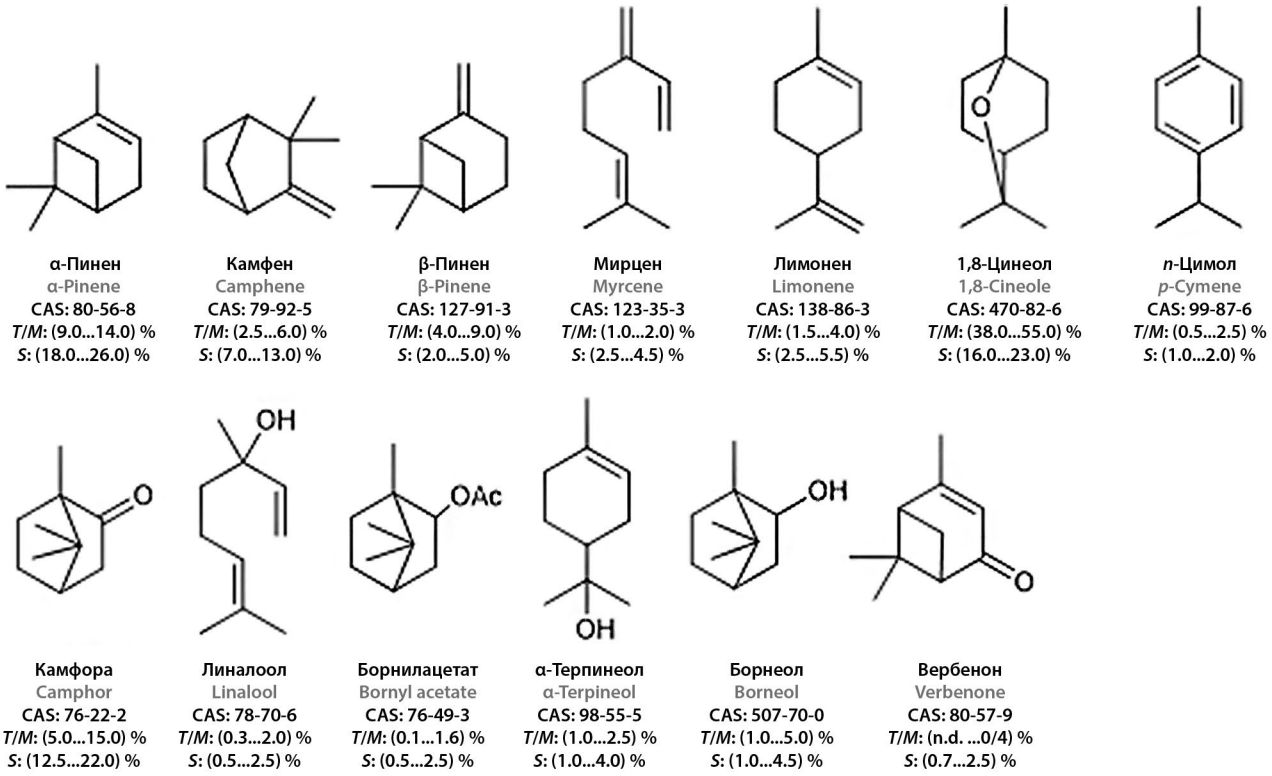

Рисунок 1. Хроматографический профиль эфирного масла розмарина лекарственного согласно ISO 1342:2012.
***T/M* – тунисский или марокканский вид; *S* – испанский вид; n.d. – не обнаружен**

Figure 1. Chromatographic profile of rosemary essential oil according to ISO 1342:2012
***T/M* – Tunisian or Moroccan type; *S* – Spanish type; n.d. – not detected**

Таблица 1. Сводная характеристика результатов исследований сезонной вариабельности компонентного состава эфирного масла розмарина

Table 1. Summary of the results of studies of seasonal variability of the component composition of rosemary essential oil

Регион Region	**Основные компоненты и их концентрации** Main components and their concentrations	**Содержание эфирного масла, %** Essential oil content, %	**Срок исследования** Study Period	**Литература** Reference
Марешал-Флориану, Бразилия Marechal-Floriano, Brazil	1,8-цинеол – (19,3...22,7) %, камфора – (24,4…35,9) %, α-пинен – (5,2…15,2) %, мирцен – (9,6…15,3) %, вербенон – (5,2…15,2), борнеол – (0,9…2,3) % 1,8-cineol – (19,3...22,7) %, camphor – (24,4...35,9) %, α-pinene – (5,2...15,2) %, myrcene – (9,6...15,3) %, verbenone – (5,2...15,2), borneol – (0,9...2,3) %	0,45…0,90	12 месяцев 12 months	[11]
Белград, Сербия Belgrade, Serbia	1,8-цинеол – (12,7…18,0) %, камфора – (23,3…28,1) %, α-пинен – (10,0…13,5) %, мирцен – (4,3…5,9) %, вербенон – (5,1…7,9), борнеол – (5,1…7,9) % 1,8-cineol – (12,7...18,0) %, camphor – (23,3...28,1) %, α-pinene – (10,0...13,5) %, myrcene – (4,3...5,9) %, verbenone – (5,1...7,9) %, borneol – (5,1...7,9) %	0,30…0,70	12 месяцев 12 months	[12]
Пантагар, Индия Panthagar, India	1,8-цинеол – (20,4…23,9) %, камфора – (23,9…33,2) %, α-пинен – (6,6…14,4) %, мирцен – (0,7…1,3) %, вербенон – (6,9…10,1), борнеол – (1,7…2,5) % 1,8-cineol – (20,4...23,9) %, camphor – (23,9...33,2) %, α-pinene – (6,6...14,4) %, myrcene – (0,7...1,3) %, verbenone – (6,9...10,1), borneol – (1,7...2,5) %	0,93…1,02	225 дней 225 days	[13]

Окончание таблицы 1

Регион Region	**Основные компоненты и их концентрации** Main components and their concentrations	**Содержание эфирного масла, %** Essential oil content, %	**Срок исследования** Study Period	**Литература** Reference
Палампур, Гималаи, Индия Palampur, Himalayas, India	1,8-цинеол – (32,5…51,8) %, камфора – (7,1…31,5) %, α-пинен – (5,5…12,8) %, мирцен – (1,2…2,8) %, вербенон –не обнаружен, борнеол – (0…1,5) % 1,8-cineol – (32,5...51,8) %, camphor – (7,1...31,5) %, α-pinene – (5,5...12,8) %, myrcene – (1,2...2,8) %, verbenone – not detected, borneol – (0...1,5) %	0,48…0,87	9 месяцев 9 months	[14]
Хаэн, Испания Jaén, Spain	1,8-цинеол – (12,1…13,6) %, камфора – (24,3…34,3) %, α-пинен – (11,8…19,8) %, мирцен – (1…2,4) %, вербенон –не обн, борнеол – (3,3…5,0) % 1,8-cineol – (12,1...13,6) %, camphor – (24,3...34,3) %, α-pinene – (11,8...19,8) %, myrcene – (1...2,4) %, verbenone – not detected, borneol – (3,3...5,0) %	1,23…1,70	8 месяцев 8 months	[15]
Эль Атёф, Марокко El Ateuf, Morocco	1,8-цинеол – (43,7…51,7) %, камфора – (14,3…20,4) %, α-пинен – (4,0…7,8) %, мирцен – (0,9…1,3) %, вербенон –не обн., борнеол – (7,3…12,3) % 1,8-cineol – (43,7...51,7) %, camphor – (14,3...20,4) %, α-pinene – (4,0...7,8) %, myrcene – (0,9...1,3) %, verbenone – not detected, borneol – (7,3...12,3) %	2,6…3,6	12 месяцев 12 months	[16]
Мерсин, Турция Mersin, Turkey	1,8-цинеол – (50,7…61,4) %, камфора – (5,8…12,6) %, α-пинен – (7,8…10,2) %, мирцен – (1,5…3,9) %, вербенон –не обн., борнеол – (1,6…6,8) % 1,8-cineol – (50,7...61,4) %, camphor – (5,8...12,6) %, α-pinene – (7,8...10,2) %, myrcene – (1,5...3,9) %, verbenone – not detected, borneol – (1,6...6,8) %	н.у.	10 месяцев 10 months	[17]
Закинтос, Греция Zakynthos, Greece	1,8-цинеол – (48,3…58,7) %, камфора – (0,2…0,3) %, α-пинен – (7,9…9,9) %, мирцен – (0,9…1,1) %, вербенон –не обнаружен, борнеол – (8,8…10,4) % 1,8-cineol – (48,3...58,7) %, camphor – (0,2...0,3) %, α-pinene – (7,9...9,9) %, myrcene – (0,9...1,1) %, verbenone – not detected, borneol – (8,8...10,4) %	1,8…3,3	18 месяцев 18 months	[18]

Примечание. Значения содержаний компонентов и выходов эфирного масла представлены в диапазоне от минимального к максимальному, в соответствии с данными указанных исследований.

Notes. Values of component contents and essential oil yields are presented in the range from minimum to maximum, according to the data of the indicated studies.

Сведения о сезонной вариабельности эфирных масел имеют ключевое значение при определении сезонов заготовки: вариации компонентного состава должны быть минимальны, а диапазоны концентраций должны соответствовать установленным в нормативной документации, при этом должен наблюдаться максимально возможный выход эфирного масла.

Розмарин лекарственный произрастает на юге Российской Федерации (Республика Крым, Кавказ), при этом хроматографический профиль его эфирного масла не закреплен в нормативной документации. В ходе ранее проведенных исследований [19] установлено, что хроматографический профиль эфирного масла розмарина лекарственного крымского происхождения соответствует испанскому виду эфирного масла, согласно ISO 1342:2012.

Несмотря на то, что в республике Дагестан розмарин лекарственный цветет практически круглогодично, на текущий момент в литературе отсутствуют данные об исследовании компонентного состава его эфирного масла, как и о его сезонных вариациях. В этой связи проведение данного исследования представляет не только научный, но и практический интерес, поскольку данное сырье может потенциально использоваться в эфиромасличной промышленности.

Цель исследования – изучение сезонных вариаций эфирного масла розмарина лекарственного дагестанского происхождения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Растительное сырье

Объектом настоящего исследования служили образцы розмарина лекарственного (надземная часть: ветки и соцветия), заготовленные в районе г. Махачкалы (42°56′25.3″N, 47°32′35.0″E, высота над уровнем моря: –8 м) в период с марта 2024 года по февраль 2025 года. Сушка растительного материала производилась воздушно-теневым способом. Идентификацию образцов проводили по комплексу морфологических признаков с использованием коллекции LE 01062579 виртуального гербария Ботанического института им. В. Л. Комарова РАН[1].

Получение эфирного масла

Оценка содержания эфирного масла проводилась путем гидродистилляции 60 г растительного сырья (ветки и соцветия розмарина лекарственного) в течение 2 часов с использованием аппарата Клевенджера, в соответствии с требованиями Европейской фармакопеи 11 издания[2]. Полученное масло высушивали над безводным сульфатом натрия и хранили в таре из темного стекла при температуре от 2 до 8 °C до ГХ-анализа. Гидродистилляция растительного сырья в каждой контрольной точке проводилась трижды. Полученные пробы анализировались отдельно в трех повторностях.

Газохроматографический анализ

Газохроматографический анализ проводился с использованием газового хроматографа «Кристалл 5000.2», оснащенного пламенно-ионизационным детектором (ЗАО СКБ «Хроматэк», Россия). Разделение проводилось на капиллярной колонке HP-5MS UI с неподвижной жидкой фазой (НЖФ) (5%-фенил)-метилполисилоксан (30 м × 0,25 мм × 0,25 мкм) (Agilent Technologies, США) и на капиллярной колонке DB-WAX с НЖФ в виде полиэтиленгликоля. В качестве газа-носителя использовался гелий, скорость потока газа-носителя – 1 мл/мин в режиме постоянного потока. Эфирные масла вводились в чистом виде, объем вводимой пробы – 0,1 мкл, деление потока – 1 : 200. Температура узла ввода пробы – 250 °C, температура детектора – 300 °C (250 °C при использовании DB-WAX). Температурная программа термостата колонок при использовании колонки HP-5MS UI: 75 °C – изотерма в течение 1 мин, программируемый нагрев до 240 °C со скоростью 4 °C/мин и при 240 °C изотерма в течение 20 мин. Температурная программа термостата колонок при использовании колонки DB-WAX: 75 °C – изотерма в течение 1 мин, программируемый нагрев до 225 °C со скоростью 4 °C/мин и при 225 °C изотерма в течение 35 мин.

Идентификацию компонентов эфирных масел проводили по ранее представленной методологии [19] путем сравнения экспериментальных индексов, полученных на колонках различной полярности, с теоретическими. Справочные линейные индексы удерживания (LRI) брали из базы NIST (National Institute of Standards and Technology, США) и из справочной литературы [20, 21], для расчета индексов удерживания использовался раствор *н*-алканов состава C7-C22 (гептан-докозан) с концентрацией 0,25 мг/мл в гексане. Количественную оценку содержания проводили с использованием метода внутренней нормализации без оценки коэффициента отклика детектора.

Статистический анализ

Экспериментальные данные обрабатывались с использованием Microsoft Excel и языка программирования R (ver. 4.3.3) в среде RStudio (ver. 2024.12.1 + 563). Все результаты представлены в виде среднего и его доверительного интервала ($\overline{X} \pm \Delta x$), рассчитанного для доверительной вероятности 95 %. Проверку на нормальность распределения значений проводили с использованием критерия Шапиро – Уилка. Анализ уровня статистической значимости различий между выборками выполняли при помощи однофакторного дисперсионного анализа (one-way ANOVA). Достоверность различий считали значимой при $p < 0,05$. В случае наличия значимых различий проводили последующее множественное сравнение по методу Тьюки (Tukey HSD).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Значения климатических параметров и содержания эфирного масла представлены в таблице 2.

Содержание эфирного масла в испытуемых образцах составило от 2,06 до 2,36 %. Наибольший выход эфирного масла был зарегистрирован в мае 2024 года, в месяце с наибольшей наблюдаемой температурой (+16,0 °C) и наименьшей относительной влажностью – 72,8 % (таблица 2). Оценка динамики изменения содержания эфирного масла во времени представлена на рисунке 2.

Как показано на рисунке 2, значимые различия в содержании эфирного масла не наблюдаются между различными датами сбора растительного сырья (при доверительной вероятности 95 %). Таким образом, можно сделать утверждение о постоянстве содержания эфирного масла в течение года.

[1] Образец LE 01062579. Rosmarinus officinalis L., det. Melnikov, Denis Germanovich at 28.08.2020. Виртуальный гербарий Ботанического института им. В. Л. Комарова РАН. Доступно по: http://rr.herbariumle.ru/01062579. Ссылка активна на 08.05.2025.

[2] European Pharmacopoeia, 11th edition. European Department for the Quality and Medicines & HealthCare. Strasbourg, France, 2023. Available at: https://www.edqm.eu/en/european-pharmacopoeia-ph.-eur.-11th-edition. Accessed: 16.06.2025.

Таблица 2. **Значения климатических параметров и содержания эфирного масла**

Table 2. **Values of climatic parameters and essential oil content**

Показатель Parameter	Дата сбора Date of collection			
	Март 2024 March 2024	Май 2024 May 2024	Ноябрь 2024 November 2024	Февраль 2025 February 2025
Средняя температура, °C Average temperature, °C	+6,7	+16,0	+8,3	–0,4
Относительная влажность, % Relative humidity, %	82,6	72,8	77,7	79,3
Содержание эфирного масла, мл/г Essential oil content, mg/g	2,06 ± 0,07	2,36 ± 0,07	2,20 ± 0,06	2,24 ± 0,07

Тем не менее изменения в компонентном составе являются более специфичным показателем наличия сезонных вариаций. Результаты идентификации и определения содержания компонентов эфирных масел представлены в таблице 3.

В результате анализа было идентифицировано 30 соединений, составляющих не менее 95 % от общего хроматографического профиля эфирного масла (таблица 3). Наибольшее содержание в каждом из исследуемых эфирных масел отмечено для α-пинена (от

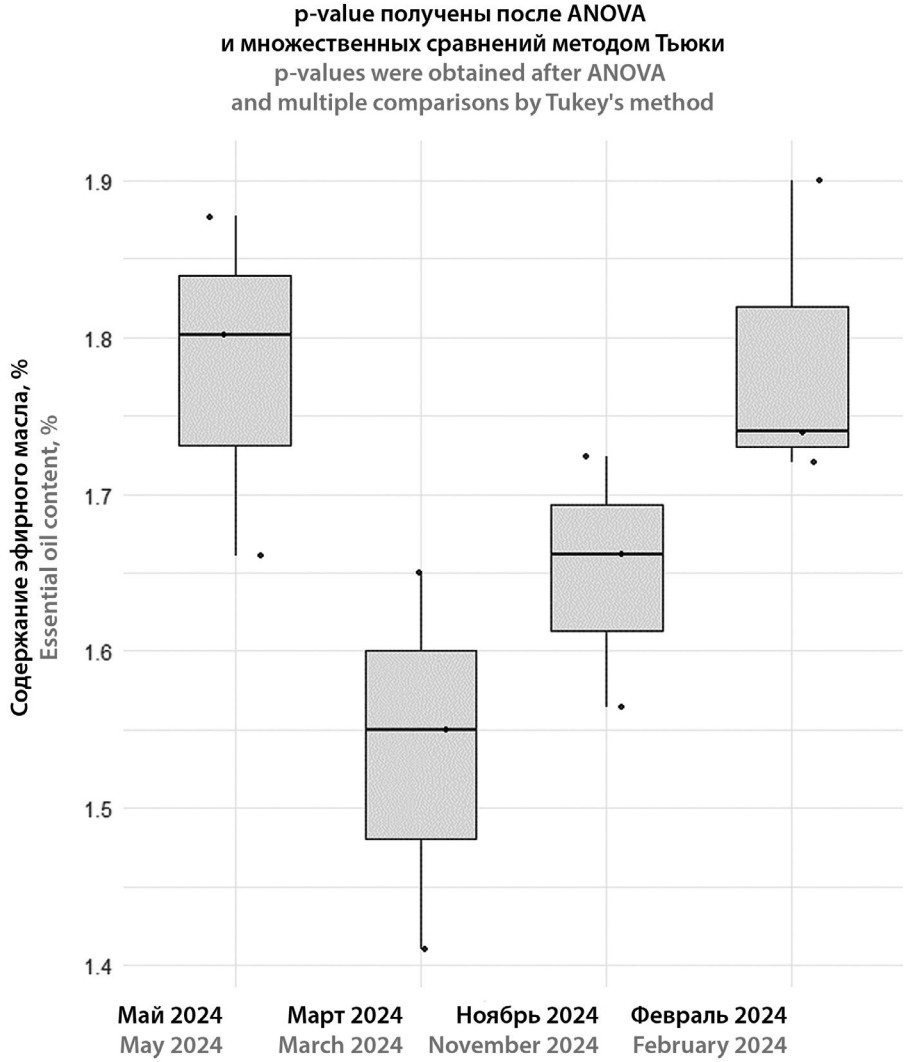

Рисунок 2. **Результаты статистической обработки изучения содержания эфирного масла в растительном сырье**

Figure 2. **Results of statistical processing of the study of essential oil content in plant raw materials**

40,93 до 47,51 %). При рассмотрении компонентного состава следует отметить высокое содержание вербенона (от 9,48 до 15,32 %). Наличие α-пинена и вербенона в указанных диапазонах концентраций коррелирует с результатами ранних исследований [8, 9] и позволяет однозначно отнести рассматриваемое эфирное масло к α-пиненовому хемотипу. Для указанного хемотипа характерно пониженное содержание 1,8-цинеола (от 8,40 до 9,06 %) и камфоры (от 3,71 до 4,39 %) в сравнении с хроматографическими профилями эфирных масел, представленными в ISO. Содержание камфена (от 2,74 до 3,38 %) и *n*-цимола (от 0,91 до 1,69 %) соответствует требованиям ISO к тунисскому/марокканскому виду эфирного масла розмарина, содержание β-мирцена (от 3,09 до 3,93 %), лимонена (от 3,97 до 4,33 %), линалоола (от 1,65 до 2,03 %), терпинен-4-ола (от 0,79 до 1,71 %), α-терпинеола (от 1,28 до 1,85 %), борнилацетата (от 1,66 до 2,32 %) – к испанскому виду, содержание борнеола (от 0,64 до 1,70 %) находится в допустимых пределах для каждого из регламентированных видов масел.

Значимым признаком любого эфирного масла является соотношение содержания различных групп компонентов в зависимости от их структуры. Если в случае стандартизированных хемотипов испанского или тунисского/марокканского вида преобладающей группой соединений в составе масла являются монотерпеноиды, то в исследуемом эфирном масле – монотерпены (от 54,73 до 69,13 % от состава масла). В общем случае сесквитерпеновые соединения не являются характерными для эфирного масла розмарина лекарственного и составляют лишь небольшую часть от его состава.

Таблица 3. Результаты идентификации и определения содержания компонентов эфирных масел

Table 3. Results of identification and determination of essential oil components content

Компонент Component	**CAS №**	**Линейные индексы удерживания (LRI)** Linear retention indices		**Дата сбора образца розмарина** Date of collection of rosemary sample			
				22.03.2024	**25.05.2024**	**09.11.2024**	**16.02.2025**
		LRI[1]	**LRI[2]**	**Концентрации компонентов, %** Component concentration, %			
α-туйен α-thujene	2867-05-27	929	1035	0,14 ± 0,01	0,26 ± 0,04	0,14 ± 0,06	0,13 ± 0,01
α-пинен α-pinene	80-56-8	939	1029	44,21 ± 2,36	47,51 ± 6,41	40,93 ± 6,04	42,35 ± 2,00
камфен camphene	79-92-5	955	1085	3,08 ± 0,31	3,38 ± 0,36	2,74 ± 0,29	2,89 ± 0,16
2,4-туйадиен 2,4-thujadiene	36262-09-06	957	1132	0,65 ± 0,13	0,72 ± 0,03	0,64 ± 0,05	0,66 ± 0,08
β-пинен β-pinene	127-91-3	979	1143	1,47 ± 0,17	1,88 ± 0,30	0,97 ± 0,37	0,96 ± 0,18
β-мирцен β-myrcene	123-35-3	988	1169	3,43 ± 0,66	3,93 ± 0,33	3,37 ± 0,15	3,09 ± 0,12
α-фелландрен α-phellandrene	99-83-2	1012	1182	0,31 ± 0,06	0,47 ± 0,03	0,35 ± 0,03	0,28 ± 0,03
α-терпинен α-terpinene	99-86-5	1019	1198	0,68 ± 0,14	0,81 ± 0,07	0,68 ± 0,06	0,57 ± 0,06
n-цимол *p*-cymene	99-87-6	1020	1289	1,62 ± 0,38	0,91 ± 0,21	1,36 ± 0,56	1,69 ± 0,04
лимонен limonene	138-86-3	1024	1217	4,33 ± 0,93	4,03 ± 0,22	4,04 ± 0,48	3,97 ± 0,24
1,8-цинеол 1,8-cineole	470-82-6	1027	1232	8,40 ± 1,05	9,06 ± 0,33	8,71 ± 0,84	8,93 ± 0,84
γ-терпинен γ-terpinene	99-85-4	1059	1262	1,24 ± 0,19	1,80 ± 0,20	1,29 ± 0,26	0,90 ± 0,10
терпинолен terpinolene	586-62-9	1090	1303	1,07 ± 0,18	1,16 ± 0,11	1,07 ± 0,09	0,75 ± 0,06
линалоол linalool	78-70-6	1098	1558	1,83 ± 0,36	1,65 ± 0,10	2,03 ± 0,19	1,86 ± 0,20
α-камфоленаль α-campholenal	4501-58-0	1123	1503	0,03 ± 0,01	0,15 ± 0,04	0,23 ± 0,06	0,28 ± 0,11

Окончание таблицы 3

Компонент Component	**CAS №**	**Линейные индексы удерживания (LRI)** Linear retention indices		**Дата сбора образца розмарина** Date of collection of rosemary sample			
				22.03.2024	**25.05.2024**	**09.11.2024**	**16.02.2025**
		LRI[1]	**LRI[2]**	**Концентрации компонентов, %** Component concentration, %			
хризантенон chrysanthenone	473-06-3	1127	1513	0,22 ± 0,07	0,07 ± 0,01	0,11 ± 0,06	0,13 ± 0,01
цис-β-терпинеол *cis*-β-terpineol	7299-41-4	1145	1646	0,09 ± 0,04	сл. tr.	0,08 ± 0,03	0,09 ± 0,01
камфора camphor	76-22-2	1149	1550	3,76 ± 0,56	3,71 ± 0,63	4,39 ± 0,62	4,06 ± 0,36
транс-пинокамфон *trans*-pinocamphone	574-60-4	1163	1620	0,18 ± 0,04	0,20 ± 0,04	0,08 ± 0,04	0,08 ± 0,01
пинокарвон pinocarvone	16812-40-1	1164	1567	0,22 ± 0,04	0,15 ± 0,02	0,23 ± 0,11	0,28 ± 0,04
борнеол borneol	507-70-0	1174	1728	1,70 ± 0,18	0,64 ± 0,22	1,02 ± 0,48	1,13 ± 0,14
ментол menthol	15356-60-2	1175	1657	0,81 ± 0,23	0,54 ± 0,08	0,56 ± 0,05	0,56 ± 0,05
терпинен-4-ол terpinen-4-ol	562-74-3	1180	1623	1,71 ± 0,23	0,79 ± 0,15	1,08 ± 0,20	1,06 ± 0,09
α-терпинеол α-terpineol	98-55-5	1192	1717	1,69 ± 0,20	1,28 ± 0,21	1,84 ± 0,47	1,85 ± 0,22
дигидрокарвеол dihydrocarveole	38049-26-2	1197	1703	0,66 ± 0,07	0,39 ± 0,12	0,63 ± 0,14	0,59 ± 0,09
вербенон verbenone	80-57-9	1210	1720	9,97 ± 7,09	9,48 ± 5,09	15,92 ± 1,94	15,32 ± 0,86
карвон carvone	99-49-0	1244	1735	0,32 ± 0,04	0,17 ± 0,06	0,27 ± 0,09	0,28 ± 0,06
линалилацетат linalyl acetate	115-95-7	1252	1571	0,79 ± 0,09	0,19 ± 0,06	0,96 ± 0,26	0,91 ± 0,15
борнилацетат bornyl acetate	76-49-3	1289	1596	2,32 ± 0,47	2,16 ± 0,14	1,66 ± 0,21	1,79 ± 0,32
β-кариофиллен β-caryophyllene	87-44-5	1423	1626	0,39 ± 0,14	0,31 ± 0,04	0,18 ± 0,05	0,15 ± 0,03
Монотерпены Monoterpenes				63,14 ± 5,32	69,13 ± 7,80	54,73 ± 6,22	59,16 ± 2,81
Монотерпеноиды Monoterpenoids				32,18 ± 6,04	28,67 ± 6,53	42,31 ± 5,47	38,34 ± 2,72
Сесквитерпены Sesquiterpenes				0,45 ± 0,14	0,29 ± 0,04	0,19 ± 0,05	0,15 ± 0,04
Сумма Summ				95,77 ± 1,50	98,09 ± 1,23	97,23 ± 0,72	97,65 ± 0,15

Примечания. Компоненты представлены в порядке элюирования на колонке HP-5MS UI. Содержание мажоритарных компонентов выделено полужирным шрифтом.

Сокращения: LRI[1] – линейные индексы удерживания, полученные на колонке с неполярной НЖФ; LRI[2] – справочные линейные индексы удерживания для колонки с полярной НЖФ; сл. – обнаружены следовые количества (не более 0,01 %).

Notes. The components are presented in the order of elution on the HP-5MS UI column. The content of major components is shown in bold.

Abbreviations: LRI[1] – Linear retention indices obtained on the column with nonpolar SLP; LRI[2] – Reference linear retention indices for the column with polar SLP; tr. – trace amounts (not more than 0.01 %) were detected.

Для целей хроматографического профилирования важно постоянство компонентного состава эфирного масла в течение года и, как следствие, постоянство соотношения между группами компонентов. Оценка динамики изменения основных компонентов эфирного масла представлена на рисунке 3, оценка динамики изменения содержания монотерпенов и монотерпеноидов и их соотношения представлена на рисунке 4.

Наибольшую стабильность в течение года среди компонентов эфирного масла демонстрируют 1,8-цинеол и лимонен (рисунок 3). В результате дисперсионного анализа не выявлено статистически значимых отличий между содержанием этих компонентов в эфирном масле в каждой экспериментальной точке. Для содержания линалоола установлено значимое отличие между содержанием в мае 2024 – (1,65 ± 0,10) % и ноябре 2024 – (2,03 ± 0,19) %.

Значимые отличия в содержании отмечены для главного компонента эфирного масла – α-пинена – между маем 2024 (47,51 ± 6,41) % и ноябрем 2024 (40,93 ± 6,04) % и между маем 2024 и февралем 2025 (42,35 ± 2,00) %. В идентичных точках отмечены значимые отличия и для камфоры: между маем 2024 (3,71 ± 0,63) % и ноябрем 2024 (4,39 ± 0,62) %, маем 2024 и февралем 2025 (4,06 ± 0,36) %.

Большое отличие в содержании отмечено для вербенона: для образцов, полученных из сырья, собранного в марте и мае, наблюдается его содержание (9,97 ± 7,09) % и (9,48 ± 5,09) %. Для следующих образцов характерно его содержание (15,92 ± 1,94) % и (15,32 ± 0,86) %. Подобная динамика концентраций может свидетельствовать, например, о сезонных особенностях его накопления в растительном сырье. Тем не менее в рамках данного исследования можно сделать заключение о наличии значимого отличия содержания между рассматриваемыми периодами. Данная динамика изменения концентраций может быть объяснена биосинтетическими превращениями вербенона. Установлено, что вербенон является одним из основных продуктов реакции при действии на α-пинен и β-пинен при воздействии на них патогенного для растений гриба *Armillariella mellea* [22]. Таким образом, взаимосвязь содержания вербенона и α-пинена может быть объяснена возможностью протекания реакции синтеза вербенона из α-пинена.

Похожая динамика характерна для терпенен-4-ола: наименьшие значения содержания соответствуют периоду заготовки с марта 2024 по май 2024, а наибольшие – с ноября 2024 по февраль 2025. Обратная динамика наблюдается для борнилацетата и камфена – наибольшие значения содержания соответствуют периоду заготовки с марта 2024 по май 2024.

Борнеол и *n*-цимол демонстрируют схожую между собой динамику: наибольшее значение содержания характерно для мартовского периода заготовки, но в мае 2024 уже наблюдается наименьшее значение концентрации с последующим накоплением каждого из компонентов. Содержание α-терпинеола изменяется схожим образом, но с максимумом содержания в ноябре 2024.

При отслеживании динамики изменения соотношения содержаний монотерпенов и монотерпеноидов в составе эфирного масла розмарина отмечается ранее упомянутая тенденция. Отличия в содержании монотерпенов значимы при сравнении эфирного масла, полученного из сырья, заготовленного в мае 2024 в сравнении с ноябрем 2024 и февралем 2025, что справедливо для динамики содержания монотерпеноидов и для динамики изменения соотношения содержаний. Подобные наблюдения во многом объясняются динамикой изменения концентраций α-пинена и вербенона.

Соотношение содержаний монотеперпенов и монотерпеноидов находится в диапазоне от 1,29 до 2,41. Несмотря на достаточно широкий диапазон возможных значений этот критерий может быть использован для идентификации эфирного масла дагестанского происхождения, поскольку для него характерно достаточно редкое преобладание содержания монотерпеновых компонентов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе исследования был впервые описан компонентный состав эфирного масла розмарина лекарственного (*Salvia rosmarinus* Spenn., seu *Rosmarinus officinalis* L.) дагестанского происхождения. Для исследуемого эфирного масла изучена сезонная вариабельность компонентного состава в период с марта 2024 года по февраль 2025 года.

Установлено, что в компонентном составе эфирного масла розмарина лекарственного дагестанского происхождения преобладает α-пинен. Вторым наиболее значимым компонентом состава эфирного масла является вербенон, подобная закономерность позволила однозначно установить хемотип эфирного масла – α-пиненовый. Данный хемотип эфирного масла розмарина лекарственного не описывается ISO. С учетом широкой распространенности данного хемотипа требуется его нормирование и включение в нормативную документацию.

В ходе исследования было отмечено статистически значимое изменение содержания для каждого из компонентов эфирного масла розмарина лекарственного, за исключением 1,8-цинеола и лимонена. Значимые отличия установлены для суммированных содержаний монотерпеноидов и монотерпенов, а также их соотношения.

Полученные в ходе исследования данные могут быть использованы при составлении хроматографического профиля эфирного масла розмарина дагестанского происхождения. Данный хроматографический профиль позволит корректно отразить не только географическую, но и сезонную вариабельность эфирного масла.

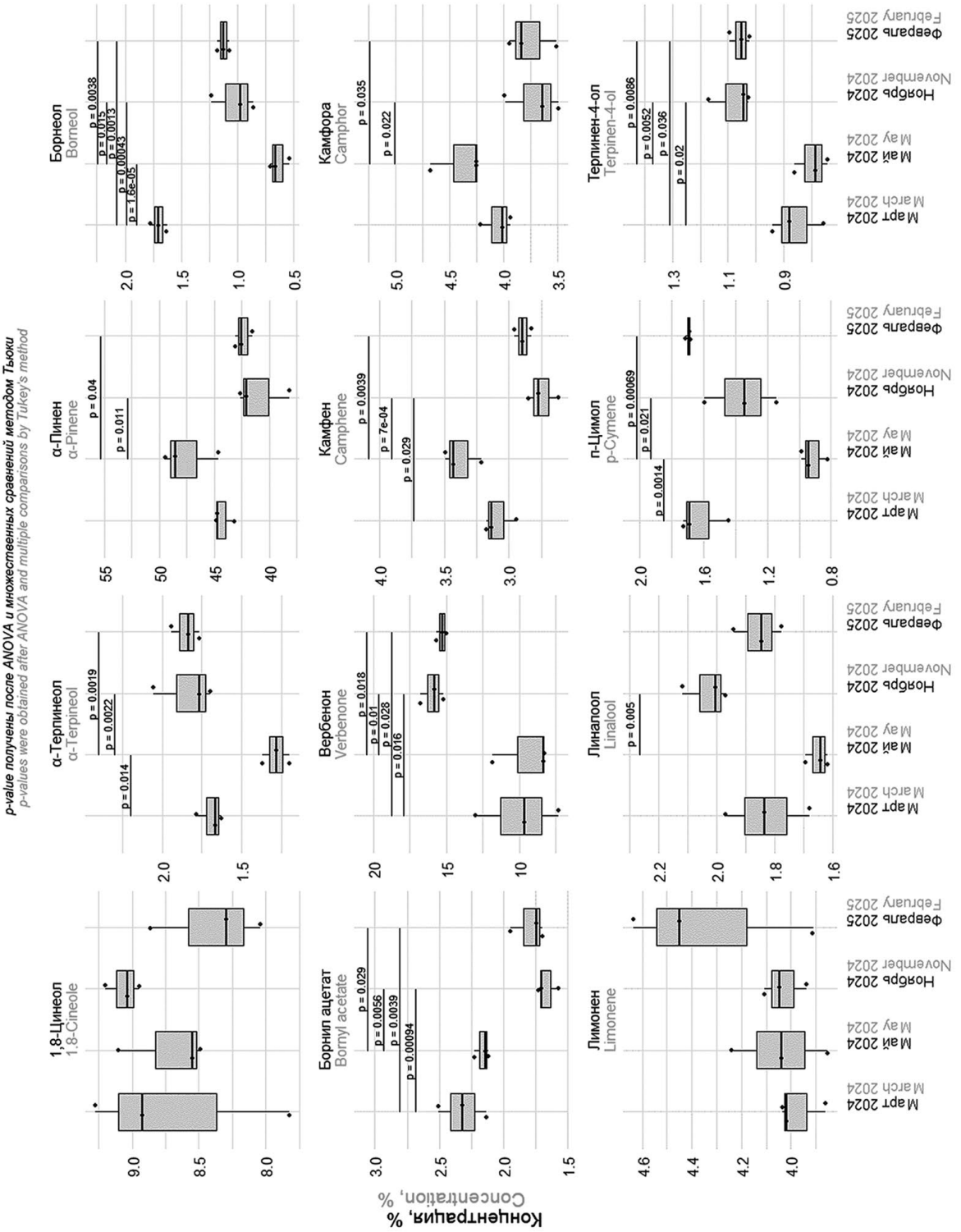

Рисунок 3. **Оценка динамики изменения содержания основных компонентов эфирного масла розмарина лекарственного**

Figure 3. **Assessment of the dynamics of change in the content of the main components of essential oil of rosemary**

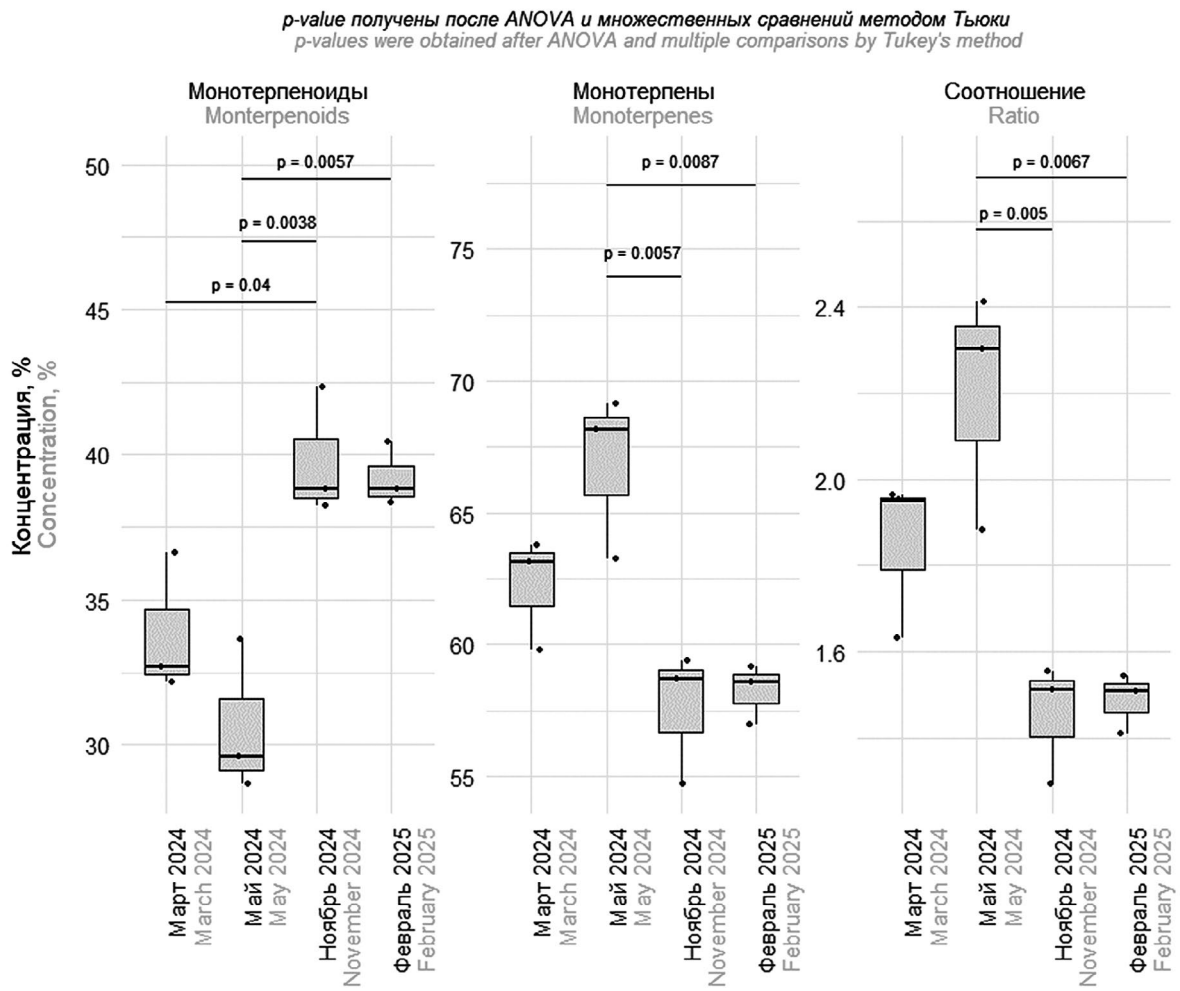

Рисунок 4. Оценка динамики изменения содержания монотерпенов и монотерпеноидов и их соотношения в составе эфирного масла розмарина лекарственного

Figure 4. Assessment of the dynamics of changes in the content of monoterpenes and monoterpenoids and their ratio in the composition of essential oil of rosemary

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Aziz E., Batool R., Akhtar W., Shahzad T., Malik A., Shah M. A., Iqbal S., Rauf A., Zengin G., Bouyahya A., Rebezov M., Dutta N., Khan M. U., Khayrullin M., Babaeva M., Goncharov A., Shariati M. A., Thiruvengadam M. Rosemary species: a review of phytochemicals, bioactivities and industrial applications. *South African Journal of Botany*. 2022;151(B):3–18. DOI: 10.1016/j.sajb.2021.09.026.
2. De Macedo L. M., dos Santos É. M., Militão L., Tundisi L. L., Ataide J. A., Barbosa Souto E. B., Mazzola P. G. Rosemary (*Rosmarinus officinalis* L., syn *Salvia rosmarinus* Spenn.) and Its Topical Applications: A Review. *Plants*. 2020;9(5):651. DOI: 10.3390/plants9050651.
3. Rašković A., Milanović I., Pavlović N., Ćebović T., Vukmirović S., Mikov M. Antioxidant activity of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) essential oil and its hepatoprotective potential. *BMC Complementary and Alternative Medicine*. 2014;14:225. DOI: 10.1186/1472-6882-14-225.
4. Ojeda-Sana A. M., van Baren C. M., Elechosa M. A., Juárez M. A., Moreno S. New insights into antibacterial and antioxidant activities of rosemary essential oils and their main components. *Food Control*. 2013;31(1):189–195. DOI: 10.1016/j.foodcont.2012.09.022.
5. Nieto G., Ros G., Castillo J. Antioxidant and antimicrobial properties of rosemary (*Rosmarinus officinalis*, L.): A review. *Medicines*. 2018;5(3):98. DOI: 10.3390/medicines5030098.
6. Becer E., Altundağ E. M., Güran M., Vatansever H. S., Ustürk S., Hanoğlu D. Y., Başer, K. H. C. Composition and antibacterial, anti-inflammatory, antioxidant, and anticancer activities of Rosmarinus officinalis L. essential oil. *South African Journal of Botany*. 2023;160:437–445. DOI: 10.1016/j.sajb.2023.07.028.
7. Бурцева Е. В., Кацев А. М., Кулдыркаева Е. В., Мехоношина И. С., Тимашева Л. А., Пехова О. А. Изучение химического состава и биологического действия ароматных вод в сравнительном аспекте. *Разработка и регистрация лекарственных средств*. 2023;12(4):197–208. DOI:

10.33380/2305-2066-2023-12-4-1526. [Burtseva Ye. V., Katsev A. M., Kuldyrkaeva E. V., Mekhonoshina I. S., Timasheva L. A., Pekhova O. A. Study of the Chemical Composition and Biological Effects of Aromatic Waters in a Comparative Aspect. *Drug development & registration*. 2023;12(4):197–208. (In Russ.) DOI: 10.33380/2305-2066-2023-12-4-1526.]

8. Sadeh D., Nitzan N., Chaimovitsh D., Shachter A., Ghanim M., Dudai N. Interactive effects of genotype, seasonality and extraction method on chemical compositions and yield of essential oil from rosemary (Rosmarinus officinalis L.). *Industrial Crops and Products*. 2019;138:111419. DOI: 10.1016/j.indcrop.2019.05.068.
9. Li G., Cervelli C., Ruffoni B., Shachter A., Dudai N. Volatile diversity in wild populations of rosemary (Rosmarinus officinalis L.) from the Tyrrhenian Sea vicinity cultivated under homogeneous environmental conditions. *Industrial Crops and Products*. 2016;84:381–390. DOI: 10.1016/j.indcrop.2016.02.029.
10. Özcan M. M., Chalchat J.-C. Chemical composition and antifungal activity of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) oil from Turkey. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*. 2008;59(7–8):691–698. DOI: 10.1080/09637480701777944.
11. Lemos M. F., Lemos M. F., Pacheco H. P., Endringer D. C., Scherer R. Seasonality modifies rosemary's composition and biological activity. *Industrial Crops and Products*. 2015;70:41–47. DOI: 10.1016/j.indcrop.2015.02.062.
12. Lakušić D., Ristić M., Slavkovska V., Lakušić B. Seasonal variations in the composition of the essential oils of rosemary (Rosmarinus officinalis, Lamiaceae). *Natural Product Communications*. 2013;8(1):131–134.
13. Verma R. S., Padalia R. C., Chauhan A., Upadhyay R. K., Singh V. R. Productivity and essential oil composition of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) harvested at different growth stages under the subtropical region of north India. *Journal of Essential Oil Research*. 2020;32(2):144–149.
14. Rathore S., Mukhia S., Kapoor S., Bhatt V., Kumar R., Kumar R. Seasonal variability in essential oil composition and biological activity of Rosmarinus officinalis L. accessions in the western Himalaya. *Scientific Reports*. 2022;12(1):3305.
15. Salido S., Altarejos J., Nogueras M., Saánchez A., Luque P. Chemical composition and seasonal variations of rosemary oil from southern Spain. *Journal of Essential Oil Research*. 2003;15(1):10–14.
16. Farhani F., El Aboudi A., Boujraf A., Dallahi Y. Influence of Harvest Time and Environmental Factors on the Yield and Chemical Composition of Rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) Essential Oil in Northeast Morocco. *Ecological Engineering & Environmental Technology (EEET)*. 2024;25(11):1–17. DOI: 10.12912/27197050/191265.
17. Celiktas O. Y., Kocabas E. H., Bedir E., Sukan F. V., Ozek T., Baser K. H. C. Antimicrobial activities of methanol extracts and essential oils of Rosmarinus officinalis, depending on location and seasonal variations. *Food Chemistry*. 2007;100(2):553–559.
18. Papageorgiou V., Gardeli C., Mallouchos A., Papaioannou M., Komaitis M. Variation of the chemical profile and antioxidant behavior of Rosmarinus officinalis L. and Salvia fruticosa Miller grown in Greece. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2008;56(16):7254–7264. DOI: 10.1021/jf800802t.
19. Ермаченков Р. Э., Марков А. Л., Агаев М. М., Бурцева Е. В., Тернинко И. И. Изучение компонентных особенностей эфирных масел розмарина лекарственного и шалфея мускатного крымского происхождения. *Разработка и регистрация лекарственных средств*. 2024;13(4):161–179. DOI: 10.33380/2305-2066-2024-13-4-1832. [Ermachenkov R. E., Markov A. L., Agaev M. M., Burtseva E. V., Terninko I. I. Study of component features of essential oils of *Rosmarinus officinalis* and *Salvia sclarea* of Crimean origin. *Drug development & registration*. 2024;13(4):161–179. (In Russ.) DOI: 10.33380/2305-2066-2024-13-4-1832.]
20. Adams R. P. Identification of Essential Oil Components by Gas Chromatography/Mass Spectrometry. 4th ed. Carol Stream: Allured Publishing; 2017.
21. Babushok V. I., Linstrom P. J., Zenkevich I. G. Retention indices for frequently reported compounds of plant essential oils. *Journal of Physical and Chemical Reference Data*. 2011;40(4):043101. DOI: 10.1063/1.3653552.
22. Draczynska B., Cagara Cz., Siewinski A., Rymkiewicz A., Zabza A., Leufvèn A., Biotransformation of pinenes; XVII. Transformation of α- and β-pinenes by means of *Armillariella mellea* (honey fungus), a parasite of woodlands. *Journal of Basic Microbiology*. 1985;25:487–492.