Сорбционные и хроматографические процессы. 2026. Т. 26, № 2. С. 386-400.
Sorbtsionnye i khromatograficheskie protsessy. 2026. Vol. 26, No 2. pp. 386-400.

ISSN 1680-0613

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

Научная статья
УДК 615.322:574.24
doi: 10.17308/sorpchrom.2026.26/14187

Хромато-масс-спектрометрическое исследование особенности накопления и компонентного состава эфирного масла в лекарственных растениях различных экотопов Ростовской области

Юлия Александровна Павлова, Нина Алексеевна Дьякова, Алексей Иванович Сливкин✉, Владимир Федорович Селеменев, Ирина Михайловна Коренская

Воронежский государственный университет, Воронеж, Россия, slivkin@pharm.vsu.ru✉

Аннотация. Биосинтез и аккумуляция биологически активных соединений в растениях представляют собой сложный физиолого-биохимический процесс, находящийся под значительным влиянием экзогенных факторов, включая антропогенное воздействие. Современные исследования свидетельствуют о двойственной роли экотоксикантов, способных как ингибировать, так и стимулировать пути образования вторичных метаболитов. Проведенный литературный обзор подтверждает необходимость комплексного учета фенологических, климатических и антропогенных факторов при планировании заготовок эфиромасличного лекарственного растительного сырья. Цель исследования явилось изучение особенностей качественного и количественного состава эфирных масел в травах *Achillea millefolium* L. и *Artemisia absinthium* L., заготовленных в различных экотопах Ростовской области. Количественную оценку содержания в образцах эфирного масла осуществляли согласно Государственной фармакопеи. Исследование компонентного профиля эфирных масел выполнено с применением хромато-масс-спектрометрического комплекса Agilent Technologies 7890B GC System, оснащенного масс-селективным детектором Agilent Technologies 5977A MSD. Во всех изученных образцах растительного материала содержание эфирного масла соответствовало критериям фармакопейной доброкачественности. Количественные показатели выхода эфирного масла демонстрировали вариабельность: для травы тысячелистника обыкновенного значения находились в интервале 0.17-0.43%, тогда как для травы полыни горькой – 0.21-0.44%. Наблюдалась также полихромность получаемых экстрактов, отражающая различия в их качественных характеристиках. В результате хромато-масс-спектрометрического исследования установлен сложный химический состав: в эфирном масле тысячелистника, произрастающего в синантропных условиях Ростовской области, идентифицировано 37 индивидуальных соединений, в масле полыни горькой обнаружено 51 вещество. Установлена значимая экозависимая вариабельность компонентного состава эфирных масел: в условиях антропогенной трансформации среды обитания отмечено увеличение фракции сесквитерпеноидов в составе эфирного масла. Данный биохимический сдвиг может быть обусловлен изменением кислотности почв в местах сбора, что активирует ацетатно-мевалонатный путь биосинтеза вторичных метаболитов. Сравнительный анализ с данными по Воронежской области подтвердил гипотезу о значительном влиянии региональных почвенно-климатических и экологических факторов на интенсивность биосинтеза и качественный состав эфирных масел исследованных видов.

Ключевые слова: Ростовская область, тысячелистника обыкновенного трава, полыни горькой трава, эфирные масла, хромато-масс-спектрометрия.

Для цитирования: Павлова Ю.А., Дьякова Н.А., Сливкин А.И., Селеменев В.Ф., Коренская И.М. Хромато-масс-спектрометрическое исследование особенности накопления и компонентного состава эфирного масла в лекарственных растениях различных экотопов Ростовской области // *Сорбционные и хроматографические процессы*. 2026. Т. 26, № 2. С. 386-400. https://doi.org/10.17308/sorpchrom.2026.26/14187

© Павлова Ю. А., Дьякова Н. А., Сливкин А. И., Селеменев В. Ф., Коренская И. М., 2026

Сорбционные и хроматографические процессы. 2026. Т. 26, № 2. С. 386-400.
Sorbtsionnye i khromatograficheskie protsessy. 2026. Vol. 26, No 2. pp. 386-400.

ISSN 1680-0613

Original article

Chromato-mass-spectrometric investigation of accumulation features and component composition of essential oil in medicinal plants from different ecotopes of Rostov region

Yulia A. Pavlova, Nina A. Dyakova, Alexey I. Slivkin✉, Vladimir F. Selemenev, Irina M. Korenskaya
Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation, slivkin@pharm.vsu.ru✉

Abstract. The biosynthesis and accumulation of biologically active compounds in plants represent a complex physiological and biochemical process significantly influenced by exogenous factors, including anthropogenic impact. Modern research indicates the dual role of ecotoxicants, which can both inhibit and stimulate the formation pathways of secondary metabolites. The conducted literature review confirms the need for comprehensive consideration of phenological, climatic, and anthropogenic factors when planning the harvesting of essential oil medicinal plant raw materials. The study aimed to investigate the features of the qualitative and quantitative composition of essential oils in the herbs of *Achillea millefolium* L. and *Artemisia absinthium* L. harvested in different ecotopes of Rostov region. Quantitative assessment of essential oil content in the samples was carried out according to the State Pharmacopoeia. The investigation of the component profile of essential oils was performed using an Agilent Technologies 7890B GC System chromatography-mass spectrometry complex equipped with an Agilent Technologies 5977A MSD mass-selective detector. In all studied plant material samples, the essential oil content met the pharmacopoeial quality criteria. The quantitative indicators of essential oil yield demonstrated variability: for *Achillea millefolium* L., the values ranged from 0.17–0.43%, while for *Artemisia absinthium* L., they ranged from 0.21–0.44%. Polychromism of the obtained extracts was also observed, reflecting differences in their qualitative characteristics. As a result of the chromato-mass-spectrometric study, a complex chemical composition was established: in the essential oil of *Achillea millefolium* L. growing in synanthropic conditions of Rostov region, 37 individual compounds were identified, while in *Artemisia absinthium* L. oil, 51 substances were detected. A significant eco-dependent variability in the component composition of essential oils was established: under conditions of anthropogenic transformation of the habitat, an increase in the sesquiterpenoid fraction in the essential oil composition was noted. This biochemical shift may be due to changes in soil acidity at the collection sites, which activates the acetate-mevalonate pathway of secondary metabolite biosynthesis. A comparative analysis with data from Voronezh region confirmed the hypothesis of a significant influence of regional soil-climatic and environmental factors on the biosynthesis intensity and qualitative composition of essential oils of the studied species.
Keywords: Rostov region, *Achillea millefolium* L., *Artemisia absinthium* L., essential oils, chromato-mass-spectrometry
For citation: Pavlova Yu.A., Dyakova N.A., Slivkin A.I., Selemenev V.F., Korenskaya I.M. Chromato-mass-spectrometric investigation of accumulation features and component composition of essential oil in medicinal plants from different ecotopes of Rostov region. *Sorbtsionnye i khromatograficheskie protsessy*. 2026. 26(2): 386-400. (In Russ.). https://doi.org/10.17308/sorpchrom.2026.26/14187

Введение

Биосинтез и аккумуляция биологически активных соединений в растениях представляют собой сложный физиолого-биохимический процесс, находящийся под значительным влиянием экзогенных факторов, включая антропогенное воздействие. Современные исследования свидетельствуют о двойственной роли экотоксикантов, способных как ингибировать, так и стимулировать метаболические пути образования вторичных метаболитов. В условиях стрессового воздействия отмечается активация синтеза антиоксидантных соединений – фенольных производных, низкомолекулярных пептидов и органических кислот [1, 2]. Однако влияние хронического техногенного загрязнения на качественный и количественный состав эфирных масел (ЭМ) остается недостаточно изученным [3, 4].

Традиционно максимальное накопление ЭМ связывают с фазой цветения, од-

нако современные исследования демонстрируют видовую специфичность этого показателя. Для *Thymus vulgaris* L. пик содержания терпеноидов может наблюдаться как в префлоральный период, так и на стадии плодоношения, для *Salvia officinalis* L. и *S. sclarea* L. отмечен прогрессирующий рост концентрации ЭМ от цветения до созревания семян. Для *Monarda fistulosa* L. максимальный выход масла регистрируется в фазе полного цветения [5-7]

Многолетние исследования выявили значительную вариабельность состава ЭМ в зависимости от географического происхождения. Так, для *Thymus serpyllum* L. финской популяции отсутствует карвакрол, тогда как в крымских экотипах его содержание достигает 72%. Горные популяции *Thymus* spp. демонстрируют повышенное содержание тимола (до 64%) и неролидола по сравнению с равнинными [5]. У *Salvia libanotica* Boiss. et Gaill. зимний сбор содержит на 37% больше камфоры и проявляет вдвое более высокую токсичность (LD50 839 мг/кг), чем весенний [6].

Пятилетний мониторинг *Agastache rugosa* (Fisch. et Mey.) Kuntze показал прямую корреляцию между среднесезонной температурой и выходом ЭМ [8]. Аналогично, у *Anethum graveolens* L. крымские интродуценты при повышенной инсоляции продуцируют на 25-30% больше масла, чем северные популяции [7, 9].

Значительное влияние на накопление и компонентный состав ЭМ в растениях оказывает элементный состав почв. В рамках изучения влияния минерального питания на продуктивность *Monarda fistulosa* L. было установлено, что внесение комплекса удобрений (аммиачная селитра, аммонизированный суперфосфат, хлорид калия) индуцировало увеличение продуктивности ЭМ. Схожий эффект наблюдался у *Origanum vulgare* L.: обработка биостимулятором «Циркон», содержащим производные гидроксикоричных кислот (кофейную, хлорогеновую, цикориевую), обеспечила прирост выхода ЭМ на 25% по сравнению с контролем [7, 9, 10].

Важнейшим фактором, определяющим качество лекарственного растительного сырья (ЛРС), является степень загрязнения почвы экотоксикантами, которые в превышающих ПДК концентрациях оказывают токсическое воздействие на биоту. Эти соединения обладают высокой миграционной способностью в биосферных компонентах (почва-вода-атмосфера) и склонны к биоаккумуляции в растениях, что подтверждено исследованиями хвойных видов. У Pinus sylvestris L. в условиях загрязнения отмечается аккумуляция токсичных элементов в составе хвойного ЭМ. При умеренном уровне воздействия наблюдается парадоксальное увеличение выхода масла, сопровождающееся редукцией доли монотерпеновых соединений. В свою очередь, интенсивная контаминация почвенно-воздушной среды приводит к супрессии процессов биосинтеза, что выражается в резком снижении объема продуцируемого масла на фоне повышенной концентрации в растительных тканях тяжелых металлов (Pb, Cd), фтора и серы. Схожий паттерн физиолого-биохимического ответа зарегистрирован для Abies sibirica L., у которой присутствие экотоксикантов в среде вызывает ингибирование образования терпеноидов в составе ЭМ [11-13].

Длительное хранение ЛРС также приводит к значительным изменениям в составе ЭМ. Так, в *Artemisia sieversiana* Willd. и *A. dracunculus* L. после 8 месяцев хранения содержание монотерпенов снижается на 40-60%. У *Origanum vulgare* L. наблюдается трансформация β-оцименов в сабиненгидраты. У *Seseli buchtormense* (Fisch. ex Spreng.) Koch отмечается резкое уменьшение монотерпеновой фракции [7, 9, 10].

В европейской части России с высокой плотностью промышленных предприятий, транспортной нагрузкой и интенсивным землепользованием, возрастают

риски сбора ЛРС с повышенным содержанием экотоксикантов [14]. Это актуализирует мониторинг влияния техногенного загрязнения на вторичный метаболизм лекарственных растений, таких как полынь горькая (*Artemisia absinthium* L.) и тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium* L.) [3, 4]. Оба вида, традиционно используемые в фармакопейной практике, требуют тщательного контроля экологической чистоты ЛРС в условиях возрастающей антропогенной нагрузки [1, 15].

Achillea millefolium L. (сем. *Asteraceae*) — типичный синантропный вид с циркумполярным распространением. В России ареал охватывает все флористические регионы, кроме арктической зоны. Вид демонстрирует высокую экологическую пластичность, успешно адаптируясь к различным условиям произрастания. Химический состав травы *A. millefolium* L. представлен ЭМ (0,1-0,5%, которые включают сесквитерпеноиды (β-кариофиллен (15-25%), кариофиллен оксид (8-12%)); монотерпеноиды (α-пинен (3-7%), камфора (2-5%), борнеол (1-3%)); азуленовые производные (хамазулен (0.5-2%)); сложные эфиры (линалилпропаноат (4-8%))); фенольные соединения (флавоноиды (1.2-2.0%, в том числе рутин, кверцетин, лютеолин); дубильные вещества (3-5%, которые представлены преимущественно конденсированными танинами); алкалоиды (стахидрин, сесквитерпеновые лактоны (миллефолид) [1, 4, 16, 17].

Artemisia absinthium L. (сем. *Asteraceae*) - типичный представитель рудеральной флоры, демонстрирующий высокую экологическую пластичность. Вид успешно колонизирует нарушенные территории, включая отвалы горных пород и карьеры, где нередко выступает эдификатором пионерных фитоценозов. Herba *Absinthii* характеризуется сложным химическим составом: ЭМ (0.2-0.8%, содержит монотерпеноиды (β-мирцен (5.1%), линалоол (2.6%)); сесквитерпены (хамазулен (12.3%), β-кариофиллен (1.3%)); эфиры (нерил-2-метилбутаноат (4,9%), борнилацетат (1.7%))), фенольные соединения (флавоноиды (1.5-1.8%, в том числе производные кверцетина, артеметин); кумарины (умбеллиферон, скополетин); феноlкарбоновые кислоты (хлорогеновая и ее изомеры); сесквитерпеновые лактоны (0.4%, абсинтин, артабсин); лигнаны (лириорезинолы) [3, 15, 16, 17].

Ранее проведенные сравнительные исследования в Центральном Черноземье позволили выявить снижение выхода ЭМ на 30-40% в урбанизированных биотопах, а также изменение количественного соотношения компонентов (уменьшение доли хамазулена на 15-20%, увеличение содержания цинеола до 18-22%) [1, 7, 15, 16].

Ростовская область характеризуется высокой плотностью промышленных объектов, интенсивной сельскохозяйственной деятельностью, развитой транспортной инфраструктурой. При этом систематические исследования влияния этих факторов на качество ЛРС отсутствуют, несмотря на значительные объемы заготовки (более 50 видов) [2-4].

Целью настоящей работы было сравнительное изучение качественного и количественного состава ЭМ в травах *Achillea millefolium* L. и *Artemisia absinthium* L., интродуцированных в различных экотопах Ростовской области.

Экспериментальная часть

В рамках исследования, объектом которого выступили лекарственные растения *Achillea millefolium L.* и *Artemisia absinthium L.* Отбор образцов проводился на территории Морозовского района Ростовской области. Критерием выбора точек сбора служил градиент антропогенной нагрузки. Были выделены площадки, примыкающие к транспортным магистралям различного класса: автомагистрали федерального значения (IA категория), автомобильной дороге регионального значения (IV категория) и полотну железной дороги. Пробы отбирали на расстояниях 0,

100, 200 и 300 метров от указанных источников загрязнения. Дополнительный сбор проводился в зоне влияния крупного промышленного предприятия АО «Астон» – ведущего экспортера агропромышленной продукции. Контрольные образцы были получены с условно фоновой территории, изолированной от значимых источников техногенного загрязнения.

Надземную часть растений заготавливали в фенофазу массового цветения. Срезкой отделяли верхушки генеративных побегов длиной 15-20 см [16]. Сушку сырья осуществляли в условиях естественной вентиляции при рассеянном освещении и температуре 25-30°C. Растительный материал распределяли слоем 30-40 см с периодическим переворачиванием для обеспечения равномерной дегидратации [18]. Количественное определение ЭМ проводили методом гидродистилляции [17]. Все анализы выполняли в трехкратной повторности, после чего данные подвергали статистической обработке при доверительной вероятности $p \leq 0.05$.

Компонентный состав ЭМ анализировали методом хромато-масс-спектрометрии (ХМС) на системе Agilent Technologies 7890B GC/5977A MSD. Разделение компонентов проводили на капиллярной колонке HP-5ms UI (30 м × 0.250 мм × 0,25 мкм) в режиме постоянного потока газа-носителя 1 $см^3$/мин. Температурный режим анализа предусматривал программированный нагрев от 40 до 320 °C. Использовали ионизацию электронным ударом (70 эВ) с детектированием в диапазоне m/z 20-550. Идентификацию соединений выполняли с использованием библиотеки масс-спектров NIST11, а их количественное содержание определяли методом внутренней нормализации. Статистическую обработку данных проводили с применением программных пакетов MassHunter v. B.06.00 и NIST MS Search 2.0 при уровне значимости $p \leq 0.05$ [3, 4].

Обсуждение результатов

Изученное ЛРС соответствовало требованиям по содержанию ЭМ (табл. 1) [17]. Проведенные исследования выявили существенную вариабельность показателей ЭМ в изученных образцах. Содержание ЭМ в траве полыни горькой варьировало в диапазоне 0.21-0.44%. Наибольшее значение, вдвое превышающее минимально допустимый уровень согласно ФС.2.5.0033.15 [17], было зарегистрировано в контрольной группе образцов, отобранных в фоновых биотопах. В противоположность этому, минимальные количественные показатели (0.21-0.22%) характеризовали образцы из зон интенсивного техногенного воздействия – придорожных территорий локальных дорог и агропромышленного предприятия «Астон». Аналогичная динамика наблюдалась и для тысячелистника обыкновенного: содержание ЭМ варьировало от 0.17 до 0.43%. Контрольный образец демонстрировал четырехкратное превышение минимальной нормы, регламентированной нормативной документацией (0.43%), тогда как наименьшие концентрации (0.17 и 0.18%) также были ассоциированы с территориями, подверженными техногенному воздействию.

Для обоих видов прослеживалась четкая зависимость: по мере увеличения дистанции от автодорог и железнодорожных путей содержание ЭМ в ЛРС закономерно возрастало. Этот феномен может быть объяснен физиологической ролью ЭМ, которые, испаряясь, формируют защитный барьер, предохраняющий растение от перегрева и патогенов [1, 15]. В урбанизированных биотопах, для которых характерны уплотненные почвы, низкое биоразнообразие и регулярное механическое воздействие, растения испытывают повышенный стресс. Вероятно, это приводит к интенсификации испарения ЭМ для терморегуляции, что и обусловливает их меньшую концентрацию в ЛРС с таких участков [7].

Таблица 1. Содержание ЭМ в травах полыни горькой и тысячелистника обыкновенного
Table 1. Essential oil content in *Artemisia absinthium* L. and *Achillea millefolium* L.

№ п/п	Учетная площадка	Трава полыни горькой		Трава тысячелистника обыкновенного	
		Содержание ЭМ, %	Окраска ЭМ	Содержание ЭМ, %	Окраска ЭМ
1	0 м от железнодорожной магистрали	0.22±0.04	желтая	0.24±0.02	без окраски
2	100 м от железнодорожной магистрали	0.27±0.03	оранжево-желтая	0.24±0.03	светло-желтая
3	200 м от железнодорожной магистрали	0.35±0.03	оранжевая	0.27±0.04	светло-желтая
4	300 м от железнодорожной магистрали	0.32±0.02	оранжевая	0.27±0.04	желтая
5	0 м от автомагистрали М-21 (IA категории)	0.27±0.03	желтая	0.17±0.05	желтая
6	100 м от автомагистрали М-21 (IA категории)	0.30±0.03	оранжевая	0.27±0.04	зелено-синяя
7	200 м от автомагистрали М-21 (IA категории)	0.30±0.05	оранжевая	0.27±0.03	оранжевая
8	300 м от автомагистрали М-21 (IA категории)	0.33±0.02	оранжевая	0.29±0.04	оранжево-желтая
9	0 м от нескоростной автодороги (IV категории)	0.21±0.05	светло-желтая	0.21±0.05	светло-желтая
10	100 м от нескоростной автодороги (IV категории)	0.26±0.04	без окраски	0.28±0.02	без окраски
11	200 м от нескоростной автодороги (IV категории)	0.29±0.05	светло-желтая	0.27±0.02	светло-желтая
12	300 м от нескоростной автодороги (IV категории)	0.32±0.04	оранжево-желтая	0.30±0.03	без окраски
13	АО «Астон»	0.22±0.02	светло-желтая	0.18±0.03	без окраски
14	Контроль	0.44±0.03	коричнево-оранжевая	0.43±0.02	светло-желтая
Числовой показатель по ФС [10]		Не менее 0.2	-	Не менее 0.1	-

Важным наблюдением, помимо количественных различий, стала неодинаковая окраска полученных ЭМ. Этот визуальный признак прямо указывает на вероятные изменения в их качественном, компонентном составе, что обусловило необходимость детального ХМС анализа наиболее контрастных образцов.

ХМС анализ выявил существенные различия в компонентном составе ЭМ полыни горькой, что свидетельствует о выраженном влиянии условий произрастания и уровня антропогенной нагрузки на вторичный метаболизм, в частности на биосинтез терпеноидов (таблица 2). В исследованных пробах было детектировано и идентифицировано 51 соединение [19, 20], преобладающую долю которых (95%) составили вещества терпеновой природы (моно-, бициклические терпены, камфоры, сесквитерпены).

Максимальное компонентное разнообразие эфирного масла наблюдалось в образцах, отобранных в условиях фонового контроля и на 100-метровой дистанции от дороги местного значения. В противоположность этому, пробы, подверженные интенсивному техногенному прессингу в непосредственной близости от магистралей федерального значения и железнодорожного полотна, демонстрировали обедненный компонентный профиль,

Таблица 2. Компонентный состав ЭМ травы полыни горькой различных экотопов Ростовской области, %

Table 2. Component composition of essential oil of *Artemisia absinthium* L. from different ecotopes of Rostov region, %

№ п/п	Компонент	RT	Контроль	Железная дорога 0 м	Железная дорога 200 м	Трасса 0 м	Трасса 200 м	Проселочная дорога 0 м	Проселочная дорога 100 м
1	β-мирцен	10.305	38.99	31.84	28.37	31.55	29.90	26.74	41.55
2	α-фелландрен	10.675	0.05	0.18	0.17	0.17	0.25	0.09	0.27
3	эвкалиптол	11.731	0.77	0.3	0.18	0.39	0.28	0.04	0.2
4	туйон	15.527	1.27	5.12	6.14	6.08	3	0.44	1.32
5	изопинокарвеол	15.798	0.09	0.15	0.16	0.14	0.33	0.23	1.21
6	мироксид	16.342	1.07	0.74	3.45	0.46	7.50	0.0	0.08
7	вербенол	17.390	0.21	0.06	0.24	0.13	0.02	0.17	0.43
8	лавандулол	17.715	0.21	0.25	0.44	0.38	0.83	0.22	0.31
9	терпинен-4-ол	17.828	0.51	0.33	0.31	0.37	0.70	0.03	3.93
10	изовербенилацетат	20.628	1.09	2.09	4.44	0.45	0.02	1.55	0.22
11	копаен	23.888	0.21	0.39	0.30	0.55	0.54	0.22	0.42
12	β -бурбонен	24.114	0.23	0.51	0.34	0.52	0.80	0.59	4.08
13	β -элемен	24.348	0.21	0.51	0.63	1.52	0.48	4.94	0.76
14	кариофиллен	25.012	2.57	4.30	4.21	6.77	3.89	1.11	0.06
15	лавандулил-изобутират	25.253	0.68	1.07	1.37	1.28	0.82	0.03	0.44
16	7-эпи-цис-сесквисабинен гидрат	25.714	0.04	0.08	0.25	0.15	0.12	0.59	2.44
17	гумулен	25.88	0.30	0.49	0.54	0.69	0.55	1.66	0.28
18	β -кубебен	26.597	1.76	2.04	1.58	3.55	3.71	0.04	0.62
19	3,4,4-Триметил-3-(3-оксо-бут-1-енил)-бицикло[4.1.0] гептан-2-он	26.725	0.24	0.56	0.86	1.26	0.34	1.18	9.05
20	линалил-изобутират	26.936	0.65	1.25	1.01	1.47	1.16	11.19	1.08
21	2-норкаранол	27.676	0.86	0.65	0.44	0.69	0.85	0.64	2.19
22	диэпицедрен-1-оксид	28.898	0.45	0.51	0.79	0.42	0.63	3.52	1.28
23	нерил-2-метилбутаноат	28.989	15.24	12.46	12.15	12.54	10.46	6.57	7.52
24	линалил-изовалерат	29.147	1.41	2.08	1.69	1.96	2.04	0.23	1.06
25	оксид аромадендрена	29.502	0.11	0.47	0.36	0.24	0.28	1.62	0.34
26	2-этил-4-метил-1,3-пентадиенил-бензол	29.827	1.87	-	-	-	-	-	1.17
27	оксид ледена	30.001	0.60	1.13	0.87	0.64	0.97	1.37	0.90
28	цедр-8-ен-15-ол	30.354	0.69	1.30	1.15	0.58	1.35	1.21	1.22
29	камфора	30.732	1.69	0.63	0.91	1.22	1.63	1.29	0.63
30	бензол, 1,2,3,4-тетраметил-4-(1-метилэтенил)-	31.117	0.91	1.43	1.83	3.17	0.95	0.75	0.99
31	неоизолонгифолен-8-оксо-	31.411	0.44	0.30	0.32	0.23	0.02	0.28	0.38
32	транс-неролидил-формиат	31.532	0.55	0.33	0.24	0.41	0.10	0.44	0.56
33	1-циклогекс-1-енил-1-фенилэтанол	31.901	2.10	0.96	0.48	0.71	0.45	2.36	0.94
34	хамазулен	32.294	1.01	1.07	0.67	0.92	0.93	0.94	0.68
35	α-бисаболола оксид	32.648	1.01	0.17	0.30	0.09	2.38	2,02	0,52

36	эвгенилизовалерат	34.678	0.49	-	-	-	1.28	1,47	0,05
37	(8-[(Формилокси) метил]-2-изопропил-5-метилбицикло[3.2.1] окт-6-ен-6-ил) метилформиат	35.388	0.12	0.20	0.35	0.09	0.02	0,12	0,09
38	β-сантанола ацетат	35.689	0.11	0.45	0.28	0.26	0.21	0,16	0,07
39	бутановая кислота, 2-метил-, 4-метокси-2-(3-метилоксиранил)фениловый эфир	35.81	0.07	-	-	-	0.23	0,13	0,56
40	бицикло[4.4.0]дец-5-ен, 1,5-диметил-3-гидрокси-8-(1-метилен-2-гидроксиэтил-1)	36.716	0.48	0.64	0.44	0.38	0.09	0,22	1,01
41	α-терпинен	36.987	1.31	2.66	1.83	2.26	1.8	1,49	1,94
42	нуциферол (6-(п -толил)-2-метил-2-гептенол)	37.870	2.81	2.30	3.11	3.37	2.63	6,19	3,13
43	п-цимол	37.991	5.34	7.40	6.39	5.82	4.73	7,51	0,11
44	3-Этил-3-гидроксиандростан-17-он	38.451	0.21	0.21	0.19	0.20	0.07	0,16	0,11
45	2-[4-метил-6-(2,6,6-триметилциклогекс-1-енил)гекса-1,3,5-триенил] циклогекс-1-ен-1-карбоксальдегид	38.972	0.21	0.16	0.22	0.07	0.09	0,17	1,48
46	хризантенил-2-метилбутаноат	39.221	3.94	2.36	3.51	2.16	2.51	2,93	0,07
47	фитол	39.455	1.06	0.71	1.59	0.38	1.49	1,57	0,35
48	пропановая кислота, 2-(3-ацетокси-4,4,14-триметиландрост-8-ен-17-ил)-	39.840	0.05	0.05	0.14	0.05	0.07	0,11	0,03
49	лимонен-6-ол, пивалат	40.081	0.31	0.24	0.31	0.17	0.32	0,28	0,11
50	транс-геранилгераниол	40.753	0.84	0.66	0.72	0.59	0.51	0,73	0,39
51	три(2,4-ди-трет-бутилфенил) фосфат	51.679	0.20	1.32	1.53	1.44	2.44	2,95	0,19
Всего			97,64	95.11	97.8	98.94	96.77	99.74	98.82

что выразилось в идентификации 48 индивидуальных соединений.

Доминирующим соединением во всех образцах оказался β-мирцен, содержание которого варьировало в широких пределах (26.44-41.55%). Данный монотерпен известен своими противовоспалительными, анальгезирующими и седативными свойствами, а его способность к синергическому взаимодействию с другими терпенами усиливает фармакологический потенциал ЛРС. Широко применяется β-мирцен и в косметике в качестве ароматизатора [21].

Были идентифицированы и другие биологически значимые компоненты, количественное содержание которых демонстрировало четкую зависимость от локации сбора. Максимальное содержание

Таблица 3. Особенности компонентного состава ЭМ травы полыни горькой различных экотопов Ростовской области
Table 3. Features of the component composition of the essential oil of *Artemisia absinthium* L. from different ecotopes of the Rostov region

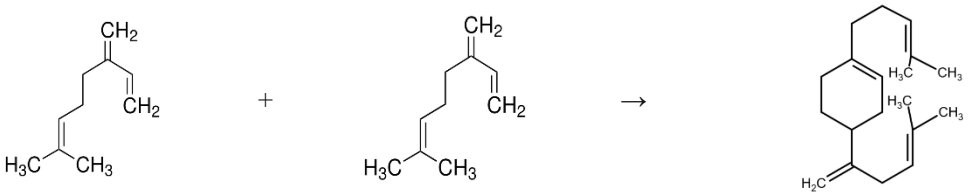
Территория заготовки	Контроль	Железная дорога 0 м	Железная дорога 200 м	Трасса 0 м	Трасса 200 м	Проселочная дорога 0 м	Проселочная дорога 100 м
Монотерпены, %	79.7	78.3	78.5	72.9	73.1	63.6	65.7
Сесквитерпены,%	18.7	19.1	19.1	24.6	23.5	32.6	30.9
Прочие вещества органической природы, %	1.6	2.6	2.4	2.5	3.4	3.8	3.4

производных нерола, в частности нерил-2-метилбутаноата (15.24%), было зафиксировано в контрольном образце, минимальные концентрации (6.57-7.52%) - вблизи проселочной дороги. Данные соединения представляют интерес в качестве душистых веществ для парфюмерной промышленности [19, 21]. П-цимол показал повышенное накопление (4.73-7.51%) в пробе, взятой вблизи железнодорожной магистрали; он также широко применяется при создании парфюмерных композиций и пищевых ароматизаторов [19, 21]. Содержание эфиров линалоола (линалилизобутирата, линалилизовалериата) в сумме варьировало от 2.06 до 11.42%, что коррелирует с выраженными антисептическими свойствами исследуемых масел [22]. Кариофиллен – сесквитерпен, проявляющий противовоспалительную и анальгетическую активность (является агонистом каннабиноидных рецепторов типа 2) – также был обнаружен в значительных количествах. Отмечена его роль в повышении устойчивости растений к низкотемпературному стрессу [21, 22]. Присутствие хамазулена и оксида бисаболола свидетельствует о потенциальной ценности масел в качестве средств с бактерицидным, антиоксидантным и регенерирующим действием [22].

Существенным результатом стало обнаружение трис-(2,4-ди-трет-бутилфенил)фосфата – стабилизатора полимерных материалов и атмосферного загрязнителя, мигрирующего в окружающую среду под воздействием нагревания и УФ-излучения [20, 21]. Значительно более низкое содержание этого ксенобиотика в контрольном образце подтверждает гипотезу о негативном влиянии промышленных и транспортных выбросов на аккумуляцию чужеродных веществ и, возможно, на перераспределение вторичных метаболитов в растениях.

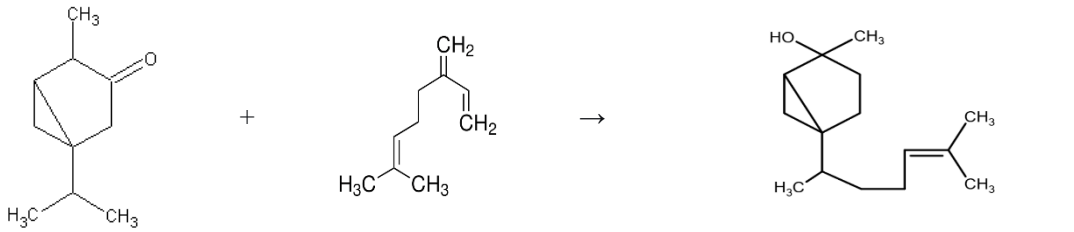
Статистический анализ подтвердил достоверное преобладание монотерпенов над сесквитерпенами во всех изученных пробах ЭМ полыни горькой (табл. 3). Однако их соотношение оказалось чувствительным к условиям среды. В фоновой зоне и у железной дороги оно составляло примерно 4:1, тогда как в урбанизированных биотопах доля сесквитерпенов возрастала, а соотношение сдвигалось к 2:1. Это может быть связано с повышенной кислотностью почв на антропогенно-нарушенных территориях, что стимулирует биосинтез более сложных сесквитерпеновых соединений [23], а также воздействием повышенных температур, УФ-излучением.

Рассмотрим отдельные возможные пути синтеза сесквитерпенов, производных камфоры, бициклических терпенов (с учетом того, что дифференциация данных соединений между собой весьма относительная). В качестве исходных веществ целесообразно выбрать те, содержание которых более значимо (по сравнению с монотерпенами) в контрольных образцах. Таковыми являются β-мирцен (38.99%), п-цимол (5.34%), α-терпинен



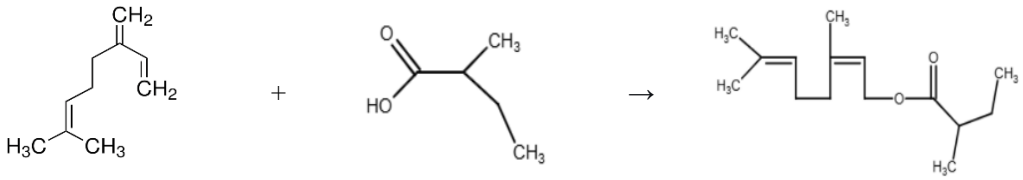
β-мирцен β-мирцен дитерпен

Схема 1/Scheme 1



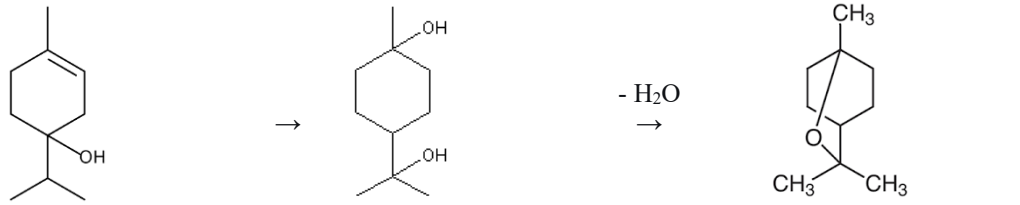
туйон β-мирцен 7-эпи-цис-сесквисабинен гидрат

Схема 2/Scheme 2



β-мирцен нерил-2-метилбутаноат

Схема 3/Scheme 3



терпинен-4-ол 1,8-терпин 1,8-цинеол (эвкалиптол)

Схема 4/Scheme 4

(1.31%), туйон (1.27%), терпинен-4-ол (0.51%).

При полимеризации монотерпена β-мирцена ($C_{10}H_{16}$) образуется дитерпен ($C_{20}H_{32}$) [24, 25] (схема 1). В данной схеме (как и в приведенных ниже) отсутствуют сведения об условиях проведения процесса и о промежуточных компонентах реакции. В результате таким реакции полимеризации мы наблюдаем, что преобладание монотерпенов над сесквитерпенами уменьшается во всех урбанизированных зонах (кроме зоны 100 м от проселочной дороги).

Наряду с реакцией (1) β-мирцен способен под действием антропогенных факторов выступать как один из компонентов при биосинтезе 7-эпи-цис-сесквисабинен гидрата (схема 2) и нерил-2-метилбутаноата (схема 3).

Полагаем, что L-терпинен и терпинен-4-ол способны превращаться в терпин-гидрат (1,8-терпин), который при повышенной температуре теряет воду, образуя эвкалиптол (1,8-цинеол) (схема 4).

1,8-цинеол представляет собой внутримолекулярный эфир. По строению он сходен со структурой пинолов и камфоры, которые по ряду свойств следует

отнести к сесквитерпенам бициклического типа.

Кроме компонентов, представленных на схемах (1-4) значимый вклад в увеличение содержания сесквитерпенов в эфирных маслах полыни горькой вносят 2-норкаранол, 3,4,4-триметил-3-(3-оксобут-1-енил)-бицикло[4.1.0]-гептан-2-он, β–кубебен, β–бурбонен.

ХМС анализ ЭМ тысячелистника обыкновенного выявил 37 соединений [19, 20], основу которых составили моно- и сесквитерпены (табл. 4). Количественный и качественный состав компонентов также демонстрировал значительную вариабельность в зависимости от места сбора ЛРС. Наибольшее структурное разнообразие терпеноидов характерно для пробы, отобранной на удалении 200 метров от автомагистрали. Напротив, минимальное количество компонентов зафиксировано в образце с контрольной (фоновой) территории.

Во всех исследованных образцах доминирующим компонентом был эвкалиптол (1,8-цинеол), содержание которого достигало 50.07%. Это соединение широко известно выраженными антисептическими и отхаркивающими свойствами [21].

Хроматографический анализ выявил широкую распространенность эндо-борнеола, проявляющего антигипертензивную активность, в большинстве исследованных образцов. Наряду с этим, в значительной части проб был детектирован спатуленол, известный своими иммунодепрессивными свойствами. В образцах, произрастающих в придорожной зоне, идентифицированы кариофиллен и его производные, обладающие комплексной биологической активностью, включающей противовоспалительный, анальгезирующий эффекты, а также способность к модуляции иммунного ответа и стимуляции пищеварительных процессов [21, 22]. Для проб из зоны влияния автотрассы установлено специфическое присутствие производных эудесмола.

Полученные результаты позволили интерпретировать наблюдаемые различия в колориметрических характеристиках эфирных масел. Интенсивный синеватый оттенок был характерен исключительно для образца, отобранного на 100-метровой дистанции от автотрассы, что находилось в прямой корреляции с повышенной концентрацией хамазулена – сесквитерпенового пигмента, обусловливающего синюю окраску [1, 22].

Анализ выявил статистически значимое преобладание монотерпенов над сесквитерпенами во всех пробах, однако их соотношение оказалось чувствительным к уровню антропогенной нагрузки (табл. 5). В контрольной зоне оно было максимальным (7:1), тогда как на урбанизированных территориях (вблизи автодорог и железнодорожной магистрали) доля сесквитерпенов возрастала, а соотношение смещалось до 4:1. Промежуточное значение (5:1) зафиксировано для пробы, отобранной в 300 метрах от железной дороги.

Увеличение доли сесквитерпеновых соединений в условиях урбоценозов, вероятно, является адаптационной реакцией растения на стрессовые факторы, такие как повышенная кислотность почв, которая стимулирует биосинтез сесквитерпенов по ацетатно-мевалонатному пути [23].

Проведенное сравнительное исследование выявило существенное влияние региональных особенностей на накопление ЭМ в ЛРС (рис. 1, 2) [1, 15].

Наибольшая разница наблюдается в пробах, отобранных в фоновых условиях (рис. 1). У полыни горькой, произрастающей в условиях Воронежского заповедника, содержание ЭМ (1,85%) почти вчетверо превышает значения, характерные для контрольных образцов из Ростовской области. В зонах промышленного воздействия данный контраст еще более выражен: содержание эфирного масла в воронежских образцах превышает ростовские аналоги в 6 раз.

Таблица 4. Компонентный состав ЭМ травы тысячелистника обыкновенного синантропной флоры Ростовской области
Table 4. Component composition of the essential oil of *Achillea millefolium* L. of the synanthropic flora of the Rostov region

№ п/п	Компонент	RT	Контроль	Трасса 100 м	Трасса 200 м	Трасса 300 м	Железная дорога 100 м	Железная дорога 200 м	Железная дорога 300 м
1.	α-пинен	8.124			1.44		1.82	2.95	2,16
2.	камфен	8.547			1.05			1.47	1,07
3.	β -пинен	9.460			2.64		3.92	3.74	2,69
4.	эвкалиптол	12.663	50.07	31.83	29.78	45.67	21.13	46.23	44,03
5.	D-(+)-камфора	16.478	8.22	7.28	11.40	4.86	9.94	16.21	11,75
6.	эндо-борнеол	17.368	11.18	10.50	16.34	19.64	26.40	11.06	12,39
7.	терпен-4-ол	17.987			0.56			0.80	
8.	сабиненгидрат	18.040		1.15					
9.	хризантенилацетат	20.666			0.95		2.2		
10.	L-борнилацетат	21.315			1.15	2.14	10.36	0.89	3,04
11.	изозативен	23.601					0.96		
12.	α -кубебен	23.895				2.54	0.39	0.35	
13.	β -бурбонен	24.107	0.94				0.27		
14.	кариофиллен	24.990		3.29	1.41	1.41		1.18	
15.	анетол	25.895							4,31
16.	изоспатуленол	26.084	5.28	4.01	1.97	4.50		1.31	2,15
17.	лонгифолен	26.491		4.65	0.46			0.82	0,59
18.	β-копаен-4α-ол	26.627	1.71				1.64		3,02
19.	аромадендрен	26.733		1.26					
20.	α-цедрена оксид	28.680		0.11	1.68				
21.	кариофиллена оксид	28.989	18.81	2.70	2.64	8.98	9.83	1.22	12,40
22.	вирдифлорен	29.115			1.87			4.74	
23.	3,7(11)-селинадиен	29.238				2.85			
24.	β-каларен	29.525				0.57	4.79		
25.	гваялацетат	29.962			6.26				
26.	муурола-4,10(14)-диен-1β-ол	30.091		1.21	3.15	1.25			0,33
27.	цедренол	30.257		0.71			3.17		
28.	кубебол	30.372	3.77	0.81					
29.	β -эудесмол	30.559		3.17	3.52				
30.	селин-6-ен-4α-ол	30.649			4.74		1.26		
31.	7-эпи-γ-эудесмол	30.664		3.85					
32.	неоинтермедеол	30.672				5.53		6.57	
33.	α-калакорен	31.449			0.53		1.82		
34.	дримендиол	31.509						0.38	
35.	γ - костол	31.623			4.94				
36.	хамазулен	32.294		4.40					
37.	цис-α-бисаболена эпоксид	34.807		19.01	1.39				
Всего			99,98	99.94	99.87	99.94	99.9	99.92	99.93

Таблица 5. Особенности компонентного состава ЭМ травы тысячелистника обыкновенного различных экотопов Ростовской области
Table 5. Features of the component composition of the essential oil of *Achillea millefolium* L. from different ecotopes of the Rostov region

Территория заготовки	Контроль	Трасса 100 м	Трасса 200 м	Трасса 300 м	ЖД 100 м	ЖД 200 м	ЖД 300 м
Монотерпены, %	88	78.2	73.8	75.2	80	76.7	83.5
Сесквитерпены,%	12	21.8	19.9	24.2	19.5	18.4	16.5
Прочие вещества органической природы, %	-	-	6.3	0.6	0.5	4.9	-

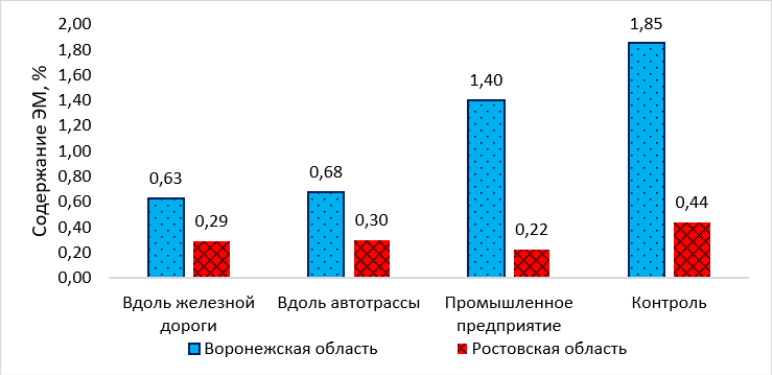


Рис. 1. Содержания ЭМ в траве полыни горькой, заготовленной в различных экотопах Воронежской и Ростовской области, %
Fig. 1. Essential oil content in *Artemisia absinthium* L. harvested in different ecotopes of Voronezh and Rostov regions, %

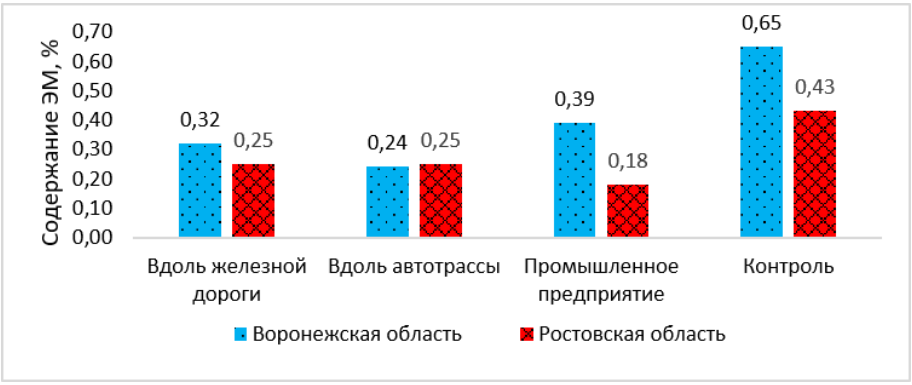


Рис. 2. Содержания ЭМ в траве тысячелистника обыкновенного, заготовленной в различных экотопах Воронежской и Ростовской области, %
Fig. 2. Essential oil content in *Achillea millefolium* L. harvested in different ecotopes of Voronezh and Rostov regions, %

Схожая закономерность, хотя и с меньшей амплитудой колебаний, установлена для тысячелистника обыкновенного (рис. 2). На территории Воронежской области, характеризующейся минимальной антропогенной нагрузкой, его сырье содержит на 50% больше эфирного масла (0.65%), а в промышленных локациях – вдвое больше по сравнению с образцами из Ростовской области.

Вероятной причиной выявленных межрегиональных различий является природно-климатический фактор. Ростовская область расположена в степной зоне, для которой характерна высокая интенсивность солнечной радиации. Это приводит к более активному испарению летучих фракций ЭМ с поверхности растений, что, в свою очередь, объясняет относительно низкое их содержание в ЛРС

по сравнению с образцами из Воронежской области, находящейся в зоне лесостепи с менее экстремальными условиями инсоляции [7].

Заключение

В результате исследования выявлены закономерности накопления ЭМ в ЛРС полыни горькой (*Artemisia absinthium* L.) и тысячелистника обыкновенного (*Achillea millefolium* L.) в различных эколого-географических условиях Ростовской области. Проведенный анализ подтвердил соответствие всех исследованных образцов требованиям фармакопейных стандартов по содержанию ЭМ. Установлено, что на контрольных территориях содержание ЭМ является статистически более высоким по сравнению с урбоценозами. ХМС исследованием идентифицировано 37 компонентов для тысячелистника и 51 для полыни, причем их спектр существенно варьировал в зависимости от места произрастания. Это свидетельствует о выраженном влиянии эдафоклиматических условий и антропогенной нагрузки на вторичный метаболизм, направленный на биосинтез терпеноидов. Выявлена устойчивая тенденция к увеличению доли сесквитерпеновых соединений в ЭМ по мере усиления техногенного влияния, что, вероятно, обусловлено адаптационной реакцией растений на повышенную кислотность почв в урбоценозах, которая стимулирует биосинтез сесквитерпенов по ацетатно-мевалонатному пути.

Выявленные закономерности могут быть использованы для планирования заготовок ЛРС с целью получения ЭМ заданного качественного состава. Целенаправленный сбор ЛРС в биотопах, обеспечивающих стабильно высокое содержание целевых компонентов (например, эвкалиптола в тысячелистнике или β-мирцена в полыни), позволит существенно оптимизировать технологические процессы.

Конфликт интересов

Авторы заявляют, что у них нет известных финансовых конфликтов интересов или личных отношений, которые могли бы повлиять на работу, представленную в этой статье.

Список литературы/References

1. Dyakova N.A., Korenskaya I.M., Slivkin A.I., Gaponov S.P. Pharmaceutical Chemistry Journal. 2022; 56(9): 1226-1233.
2. Pavlova Yu.A., Slivkin A.I., Dyakova N.A., Vervikina A.A. Pharmaceutical chemistry journal. 2024; 58(4): 666-671. https://doi.org/10.1007/s11094-024-03192-0
3. Pavlova Yu.A., Dyakova N.A., Slivkin A.I., Korenskaya I.M. Biopharmaceutical Journal. 2024; 16(5): 34-43. https://doi.org/10.30906/2073-8099-2024-16-5-34-43
4 Selivanova Yu.A., Dyakova N.A., Slivkin A.I., Korenskaya I.M. Biopharmaceutical Journal. 2023; 15(4): 7-13. https://doi.org/10.30906/2073-8099-2023-15-4-7-13
5. Arrebola M.L., Navarro M.C., Jimenez J., Ocana F.A. Phytochemistry. 1994; 1: 67-72.
6. Kovalenko N.A., Supichenko G.N., Leontiev V.N., Shutova A.G., Spiridovich E.V., Kukhareva L.V. Proceedings of the Belarusian State University. Series: Physiological, biochemical and molecular foundations of the functioning of biosystems. 2010; 5(2): 27-33.
7. Dyakova N.A., Korenskaya I.M., Kostyleva A.A., Slivkin A.I., Gaponov S.P. Bulletin of the Smolensk Medical Academy. 2023; 22(2): 207-214. https://doi.org/10.37903/vsgma.2023.2.28
8. Kovalenko N.A., Supichenko G.N., Leontiev V.N., Shutova A.G. Proceedings of the Belarusian State Technological University. Series 4. Chemistry and Technology of Organic Substances. 2008; 1(4): 30-33.
9. Shelepova O.V., Kirichenko E.B., Bidyukova G.F., Olekhnovich L.S., Kurilov D.V., Smirnova I.M., Enina O.D. Scientific Bulletin of BelSU. Series: Natural Sciences. 2011; 14-1(98): 346-351.
10. Piccaglia R., Marotti M., Giovanelli E., Deans S.G., Eaglesham E. Industrial Crops and Products. 1993; 2: 47-50.
11. Lamotkin S.A., Vladykina D.S., Skakovsky E.D. Chemistry of plant raw materials. 2012; 2: 111-117.

12. Soboleva S.V., Voronin V.M., Pochekutov I.S. Coniferous boreal zones. 2018; 36(1): 108-114.
13. Grigorenko A.V., Gribov A.I. Bulletin of Perm State University. Biology. 2015; 4: 359-365.
14. Pavlova Yu.A., Slivkin A.I., Dyakova N.A., Vervikina A.A. Russian Agricultural Sciences. 2024; 50(4): 418-422. https://doi.org/10.3103/S1068367424700460
15. Dyakova N.A., Korenskaya I.M., Slivkin A.I. Development and registration of medicines. 2023; 12(2): 104-112. https://doi.org/10.33380/2305-2066-2023-12-2-104-112
16. Dyakova N.A. Methodological recommendations for the procurement of medicinal plant raw materials in the Voronezh region. Voronezh: Voronezh State University Publishing House, 2022. 160 p. (In Russ.)
17. State Pharmacopoeia of the Russian Federation. Edition XIV. Vol. 4. Moscow: FEMB, 2018. 1834 p. (In Russ.)
18. State Pharmacopoeia of the Russian Federation. 15th ed. Moscow, 2023. [Electronic resource]. Access mode: https://pharmacopoeia.regmed.ru/pharmacopoeia/izdanie15/ (accessed: 10.09.2025).
19. Adams R.P. Identification of essential oil components by gas chromatography/mass spectrometry. Carol Stream: Allured Publ. Corp., 2007. 804 p.
20. Tkachev A.V. Research into the volatile substances of plants. Novosibirsk: ZAO IIP “Offset”, 2008. 969 p.(In Russ.)
21. Kheifits L.A., Dashunin V.M. Fragrant Substances and Other Products for Perfumery. Moscow: Khimiya, 1994. 256 p. .(In Russ.)
22. Razzhivin R.V., Reshetnyak V.Yu., Popkov V.A. Pharmacy. 2008; 6: 25-28. .(In Russ.)
23. Artyushina I.Yu., Verkhovtseva N.V. Problems of Agrochemistry and Ecology. 2013; 2: 41-46.
24. Course in Organic Chemistry / P. Carrère. – Leningrad: State Publishing House of Chemical Literature, 1962. 1216 p. .(In Russ.)
25. Bioorganic Chemistry. Textbook for Universities / N.A. Tyukavina. Moscow: Drofa, 2004. 544 p. In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors

Ю.А. Павлова– ассистент кафедры фармацевтической технологии, ВГУ, Воронеж, Россия, e-mail: u.a.selivanova@yandex.ru

Н.А. Дьякова – д.фарм.н., доцент, доцент кафедры фармацевтической технологии, ВГУ, Воронеж, Россия, Ninochka_V89@mail.ru

А.И. Сливкин – д.фарм.н., профессор, зав. кафедрой фармацевтической технологии, ВГУ, Воронеж, Россия, e-mail: slivkin@pharm.vsu.ru

В.Ф. Селеменев – д.х.н., профессор, профессор-консультант кафедры аналитической химии, ВГУ, Воронеж, Россия, e-mail: common@chem.vsu.ru

И.М. Коренская – к.фарм.н., доцент, доцент кафедры фармацевтической химии и фармакогнозии, ВГУ, Воронеж, Россия, e-mail: irmich65@yandex.ru

Yu.A. Pavlova – Assistant, Department of Pharmaceutical Technology Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation, e-mail: u.a.selivanova@yandex.ru

N.A Dyakova – Ph.D. Sciences, Associate Professor, Associate Professor, Department of Pharmaceutical Technology Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation, e-mail: Ninochka_V89@mail.ru

A.I. Slivkin – Ph.D. Sciences, Professor, Head of the Department of Pharmaceutical Technology Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation, e-mail: slivkin@pharm.vsu.ru

V.F. Selemenev – Doctor of Chemistry, Professor, Consultant Professor, Department of Analytical Chemistry Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation, e-mail: common@chem.vsu.ru

I.M. Korenskaya – Ph.D. Sciences., Associate Professor, Associate Professor of Pharmaceutical Chemistry and Pharmacognosy Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation, e-mail: irmich65@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 08.12.2025; одобрена после рецензирования 08.04.2026; принята к публикации 15.04.2026.
The article was submitted 08.12.2025; approved after reviewing 08.04.2026; accepted for publication 15.04.2026.