

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-5-1285

EDN: HISSOQ

УДК 581.821.2:581.192



Научная статья

## ЖЕЛЕЗИСТЫЕ ТРИХОМЫ, ИХ РАЗНООБРАЗИЕ, КОЛИЧЕСТВО И АНТИБАКТЕРИАЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ ЭФИРНОГО МАСЛА У НЕКОТОРЫХ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ СЕМЕЙСТВА *LAMIACEAE*

*А. Алииха, Н.Б. Прохоренко, Г.В. Демина, В.В. Сальников,  
А.В. Немтарев, А.Р. Каюмов, О.А. Тимофеева*

### *Аннотация*

**Обоснование.** Во флоре Татарстана насчитывается 55 видов травянистых растений из семейства *Lamiaceae*, из которых только пять рекомендованы к применению в официальной медицине, а остальные считаются перспективными для введения их в разряд фармакопейных. Нефармакопейные виды таких родов как *Betonica*, *Salvia*, *Stachys*, *Clinopodium*, *Lamium* в составе растительного покрова региона распространены спорадически, некоторые выступают доминантами и содоминантами растительных сообществ, что делает их доступными для сбора и заготовки. Для них отсутствуют данные о разнообразии и распределении железистых трихом в составе надземных органов растений, а также количественном содержании эфирного масла. В последние годы возрос интерес к биологической активности эфирных масел, что позволяет предположить их потенциальное использование в качестве естественной альтернативы синтетическим антибиотикам в различных областях применения, включая консервирование пищевых продуктов и фармацевтические препараты.

**Цель исследования** – дать оценку разнообразию, микроморфологии и функционированию железистых трихом у *Clinopodium vulgare*, *Lamium maculatum*, *Salvia verticillate* L., *S. tesquicola* Klok. & Pobed., *Betonica officinalis* L. и *Stachys sylvatica* (*Lamiaceae*) для оценки их ресурсной значимости в условиях естественного произрастания на территории Республики Татарстан.

**Материалы и методы.** Объектами исследований были выбраны летнезеленые длиннокорневищные многолетние травы, входящие в состав неморальных лесов (*Stachys sylvatica*, *Lamium maculatum*), луговых и лугово-степных

фитоценозов (*Salvia verticillate*, *S. tesquicola*, *Betonica officinalis*) и экотонных опушки (*Clinopodium vulgare*). Растения для микроскопических и биохимических исследований были собраны на юго-западе Республики Татарстан в период их полного цветения в течение вегетационных периодов 2022-2023 гг. Микроскопические исследования проводились с использованием оптической микроскопии, сканирующей и трансмиссионной микроскопии. Эфирное масло выделяли методом гидродистилляции в течение 3 часов, а затем изучали биологическую активность выделенных масел путем определения минимальной подавляющей концентрации (МПК) как рекомендовано EUCAST.

**Результаты.** В эпидерме стеблей, листьев и чашелистиков исследованных видов было обнаружено 5 типов железистых трихом. Наибольшее их типологическое разнообразие (4 типа) выявлено у *Salvia tesquicola* и *S. verticillate*. Нами впервые в эпидерме различных органов *Clinopodium vulgare* описаны короткие с одноклеточной эллипсоидной головкой (с1а тип) и длинные с 6 клеточной головкой (с3 тип) трихомы, в эпидерме стеблей *Stachys sylvatica* и *Betonica officinalis* – короткие с головкой из трех-четырех секреторных клеток (с1b тип), длинные с 1-4 клеточной головкой (с2 тип) и длинные с3 типа трихомы, кроме того, в эпидерме стеблей, листьев и чашелистиков *Lamium maculatum* – пельтатные железки (р). Установлена локализация и плотность железистых трихом различного типа в составе определенных органов растений. Выявлено, что для *Clinopodium vulgare* характерна высокая встречаемость трихом с1а, для *Salvia verticillate* и *S. tesquicola* – трихом с2, *Stachys sylvatica* – трихом с3 типа.

Наибольшая продукция эфирного масла (0,38-0,37 %) из надземных органов растений отмечается у *Salvia verticillata* и *Clinopodium vulgare*, низкая его продуктивность (0,13-0,15 %) – у *Stachys sylvatica* и *Salvia tesquicola*. Эфирное масло, выделенное из *Clinopodium vulgare*, обладает наилучшей антибактериальной активностью в отношении грамположительных и грамотрицательных бактерий в минимальных подавляющих концентрациях 0,25 и 0,125 % соответственно, а также из *Stachys sylvatica* в концентрациях 0,25 и 0,5 % соответственно.

**Заключение.** Изучение микроморфологии и ультраструктуры железистых трихом у 5 видов растений из семейства Lamiaceae, произрастающих в естественных фитоценозах на территории Республики Татарстан, позволило расширить существующие данные о трихомах этих видов, что имеет большое значение для систематики и идентификации этих таксонов, а также определения региональных особенностей функционирования экскреторных структур.

Наибольшая продукция эфирного масла, полученного из надземных органов растений методом гидродистилляции, характерна для *Salvia verticillata* и *Clinopodium vulgare*, низкая его продуктивность – для *Stachys sylvatica* и *Salvia*

*tesquicola*. Эфирное масло, выделенное из *Clinopodium vulgare*, обладает наилучшей антибактериальной активностью в отношении грамположительных и грамотрицательных бактерий в минимальных подавляющих концентрациях.

Следовательно, растительное сырье *Salvia verticillata* и *Clinopodium vulgare* можно рекомендовать для прикладного использования в связи с высокими количественными значениями и качественной характеристикой эфирного масла, продуцированного в железистых трихомах эпидермы надземных органов.

**Ключевые слова:** антибактериальная активность; головчатые трихомы; железистые трихомы; микроморфология; пельтатные трихомы; цитология; эфирное масло

**Для цитирования.** Алшиха, А., Прохоренко, Н. Б., Демина, Г. В., Сальников, В. В., Немтарев, А. В., Каюмов, А. Р., & Тимофеева, О. А. (2025). Железистые трихомы, их разнообразие, количество и антибактериальная активность эфирного масла у некоторых представителей семейства *Lamiaceae*. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(5), 135-165. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-5-1285>

Original article

## GLANDULAR TRICHOMES, THEIR DIVERSITY, QUANTITY AND ANTIBACTERIAL ACTIVITY OF ESSENTIAL OIL IN SOME REPRESENTATIVES OF THE *LAMIACEAE* FAMILY

*A. Alshikha, N.B. Prokhorenko, G.V. Demina, V.V. Salnikov,  
A.V. Nemtarev, A.R. Kayumov, O.A. Timofeeva*

### *Abstract*

**Background.** The flora of Tatarstan includes 55 species of herbaceous plants from the Lamiaceae family, of which only five are recommended for use in official medicine, while the rest are considered promising for inclusion in the pharmacopeial category. Non-pharmacopeial species of such genera as *Betonica*, *Salvia*, *Stachys*, *Clinopodium*, *Lamium* are distributed sporadically in the vegetation cover of the region, some are dominant and codominant in plant communities, which makes them available for collection and harvesting. There is no data on the diversity and distribution of glandular trichomes in the aerial organs of plants, as well as the quantitative content of essential oil. In recent years, interest in the biological ac-

tivity of essential oils has increased, which suggests their potential use as a natural alternative to synthetic antibiotics in various fields of application, including food preservation and pharmaceuticals.

**Purpose** – to assess the diversity, micromorphology and functioning of glandular trichomes in *Betonica officinalis* L., *Clinopodium vulgare* L., *Lamium maculatum* L., *Salvia verticillate* L., *S. tesquicola* Klok. & Pobed., and *Stachys sylvatica* L. (Lamiaceae) to evaluate their resource significance under natural growth conditions in the Republic of Tatarstan.

**Materials and methods.** The objects of the study were summer-green long-rhizome perennial herbs that are part of nemoral forests (*Stachys sylvatica*, *Lamium maculatum*), meadow and meadow-steppe phytocenoses (*Salvia verticillate*, *S. tesquicola*, *Betonica officinalis*) and forest edge ecotones (*Clinopodium vulgare*). Plants for microscopic and biochemical studies were collected in the southwest of the Republic of Tatarstan during their full flowering stage during the vegetation periods of 2022-2023. Microscopic studies were carried out using optical microscopy, scanning and transmission microscopy. The essential oil was extracted by hydrodistillation for 3 hours, and its biological activity was assessed by determining the minimum inhibitory concentration (MIC) following the EUCAST recommendations.

**Results.** Five types of glandular trichomes were found in the epidermis of stems, leaves and sepals of the studied species. Their greatest typological diversity (4 types) was found in *Salvia tesquicola* and *S. verticillate*. We have described for the first time, short trichomes with a single-celled ellipsoid head (c1a type) and long trichomes with a 6-cell head (c3 type) in the epidermis of various organs of *Clinopodium vulgare*, in the epidermis of the stems of *Stachys sylvatica* and *Betonica officinalis* we identified short trichomes with a head of three to four secreting cells (c1b type), long trichomes with a 1-4-cell head (c2 type) and long c3 type trichomes, in addition, in epidermis of the aerial organs of *Lamium maculatum* – peltate trichomes (p). The localization and density of glandular trichomes of various types in the composition of certain plant organs has been established. It was revealed that *Clinopodium vulgare* is characterized by a high frequency of c1a trichomes, *Salvia verticillate* and *S. tesquicola* – c2 trichomes, *Stachys sylvatica* – c3 type trichomes.

The highest yield of essential oil (0.38-0.37%) from the aerial organs of plants was observed in *Salvia verticillata* and *Clinopodium vulgare*, while the lowest yield (0.13-0.15%) was recorded in *Stachys sylvatica* and *Salvia tesquicola*. The essential oil extracted from *Clinopodium vulgare* has the best antibacterial activity against both gram-positive and gram-negative bacteria, with minimal inhibitory concentrations of 0.25 and 0.125%, respectively. The essential oil extracted from *Stachys sylvatica* also demonstrated antibacterial activity at concentrations of 0.25 and 0.5%, respectively.

**Conclusion.** The study of the micromorphology and ultrastructure of glandular trichomes in 5 plant species from the Lamiaceae family growing in natural phytocenoses in the Republic of Tatarstan has allowed us to expand the existing data on the trichomes of these species, which is of great importance for the systematics and identification of these taxa, as well as for determining regional features of the functioning of excretory structures.

The highest production of essential oil obtained by hydrodistillation from the aerial organs of plants was characteristic of *Salvia verticillata* and *Clinopodium vulgare*, while the lowest productivity was characteristic of *Stachys sylvatica* and *Salvia tesquicola*. Essential oil extracted from *Clinopodium vulgare* has the best antibacterial activity against gram-positive and gram-negative bacteria in minimal inhibitory concentrations. Therefore, the raw materials of *Salvia verticillata* and *Clinopodium vulgare* can be recommended for applied use due to the high quantitative values and qualitative characteristics of the essential oil produced in the glandular trichomes of the epidermis of aerial organs.

**Keywords:** antibacterial activity; capitate trichomes; glandular trichomes; micromorphology; peltate trichomes; cytology; essential oil

**For citation.** Alshikha, A., Prokhorenko, N. B., Demina, G. V., Salnikov, V. V., Nemtarev, A. V., Kayumov, A. R., & Timofeeva, O. A. (2025). Glandular trichomes, their diversity, quantity and antibacterial activity of essential oil in some representatives of the *Lamiaceae* family. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(5), 135-165. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-5-1285>

## Введение

Во флоре Татарстана насчитывается 55 видов травянистых растений из семейства Lamiaceae, из которых только пять рекомендованы к применению в официальной медицине, а остальные считаются перспективными для введения их в разряд фармакопейных [1]. Нефармакопейные виды таких родов как *Betonica*, *Salvia*, *Stachys*, *Clinopodium*, *Lamium* в составе растительного покрова региона распространены спорадически, многие из них выступают доминантами и содоминантами растительных сообществ, что делает их доступными для сбора и заготовки [1; 2].

Фармакологические свойства видов данных родов во многом определяются способностью синтезировать и накапливать эфирные масла и другие биологически активные вещества в железистых трихомах. Изучение экскреторных структур эпидермы с помощью световой и сканирующей электронной микроскопии показало, что их функция определяется не только необходимостью защиты и опыления растений, но также слу-

жат естественными биофабриками по производству ценных фитохимических веществ, что делает их центром биотехнологических применений [26; 37]. Комплексный анализ морфологии трихом различных родов семейства Lamiaceae подчеркивает их значение как в таксономии, так и в функциональной биологии, а также позволяет глубже понять их роль в экологии и эволюции растений [5; 18].

В частности, как показывают исследования в роде *Salvia* железистые трихомы делятся на пельтатные и головчатые (короткостебельные и длинностебельные формы), которые, выделяя летучие соединения, участвуют в привлечении опылителей или отпугивают травоядных животных [12; 37]. У видов родов *Clinopodium*, *Stachys* и *Lamium* среди железистых типов трихом различают пельтатные и головчатые формы. Железистые трихомы *Clinopodium* синтезируют и хранят вторичные метаболиты, такие как терпены и флавоноиды [16; 26]. У *Stachys* эти структуры используются в таксономии для различения видов в трибе Stachydeae [40].

Эфирные масла, полученные из различных видов Lamiaceae, характеризуются значительным антибактериальным действием, что позволяет их потенциальное использование в качестве естественной альтернативы синтетическим антибиотикам в различных областях, включая консервирование пищевых продуктов и изготовление фармацевтических препаратов. Например, экспериментально выявлено, что эфирное масло *Salvia* показывает сильную антибактериальную активность против многих штаммов бактерий, повреждая клеточные мембраны и изменяя их проницаемость, что приводит к высвобождению внутриклеточного содержимого [8]. Спиртовой экстракт из растительного сырья *Stachys sylvatica* L. имеет потенциальное антибактериальное действие против патогенов глаз человека [10]. Эфирные масла *Lamium purpureum* обладают антиоксидантными и противогрибковыми свойствами благодаря таким соединениям как трансанетол и фенхон [16]. Эфирное масло *Clinopodium sericeum*, проявляет антибактериальную активность в отношении грамотрицательных и грамположительных бактериальных штаммов, при этом значения МИС близки к стандартным антибиотикам [32]. Кроме того, доказана инсектицидная и антиоксидантная активность эфирных масел и экстрактов *Stachys sylvatica*, *Clinopodium vulgare* L. и *Lamium maculatum* L. [3; 4; 11; 31; 38].

Видовая специфика железистых трихом перечисленных родов в составе различных органов растений не изучены как в плане их типологического разнообразия и количественного участия, так и с точки зрения влияния условий среды на синтез и накопление эфирного масла.

*Цель исследований* – дать оценку разнообразию, микроморфологии и функционированию железистых трихом у *Clinopodium vulgare*, *Lamium maculatum*, *Salvia verticillate* L., *S. tesquicola* Klok. & Pobed., *Betonica officinalis* L. и *Stachys sylvatica* (*Lamiaceae*) для оценки их ресурсной значимости в условиях естественного произрастания на территории Республики Татарстан.

*Задачи исследований*: определить видовую специфичность железистых трихом и их плотность в эпидерме надземных органов, выявить ультраструктуру секреторных клеток с помощью электронной микроскопии, а также установить количественное содержание и антибактериальную активность эфирного масла, которое синтезируют эти клетки.

### **Материалы и методы**

*Объекты исследований и сбор материала.* Объектами исследований были выбраны летнезеленые длиннокорневищные многолетние травы, входящие в состав неморальных лесов (*Stachys sylvatica*, *Lamium maculatum*), луговых и лугово-степных фитоценозов (*Salvia verticillate*, *S. tesquicola*, *Betonica officinalis*) и экотонов опушки (*Clinopodium vulgare*) [1; 2].

Растения для микроскопических и биохимических исследований были собраны на юго-западе Республики Татарстан (РТ) в период их полного цветения в течение вегетационных периодов 2022-2023 гг.

*Методика препарирования для оптической микроскопии.* Перед изготовлением временных анатомических препаратов сухой материал предварительно размягчали и осветляли в 5% растворе КОН при нагревании. После чего готовили временные препараты участков органов (лист, стебель, чашелистиков) в глицерине. Наблюдения осуществляли на микроскопе Axio lab. A1 (Carl Zeiss, Germany) с видеокамерой AxioCam 208c (Carl Zeiss, Germany) с использованием лампы белого света и флуоресцентной насадки.

*Методика препарирования для сканирующей микроскопии.* Сегменты листьев и чашелистиков (*Clinopodium vulgare*, *Salvia verticillata* и *Stachys sylvatica*) обезживали в спиртах и абсолютном ацетоне, затем подсушивали на воздухе при комнатной температуре. Образцы фиксировали на держатель и помещались в камеру вакуумной установки Quorum Q 150T ES. После вакуумирования наносили проводящий слой методом катодного распыления сплавом Au/Pd в соотношении 80/20. Толщина нанесенного слоя составляет 10 нм. Просмотр образцов проводили на автоэмиссионном высокоразрешающем сканирующем электронном микроскопе Merlin компании Carl Zeiss. Съемка морфологии поверхности проводилась при

ускоряющем напряжении первичных электронов 5 кВ и зондовом токе 300 пА для минимального воздействия на объект исследования.

*Методика препарирования для трансмиссионной микроскопии.* Сегменты чашелистиков и листьев (*Stachys sylvatica* и *S. tesquicola*) были быстро помещены в 2,5 % глутаровый альдегид на 50 мМ фосфатном буфере (Na-Na), pH 7,3 и разрезаны в этом растворе на более мелкие сегменты размером 1,5 x 3,0 x 3,0 мм. Образцы были окончательно фиксированы в 2,5 % глутаровом альдегиде на 100 мМ фосфатном буфере (pH 7,3) в течение 3 часов. Постфиксировали в 1,0 % осмиевой кислоте 1 час. Образцы были обезвожены в спиртах, абсолютном ацетоне и окиси пропилена. Инфильтрировали в смеси эпоксидной смолы и окиси пропилена до повышения концентрации смолы до 100 % в течение трех суток. После обезвоживания и инфильтрации образцы были залиты в Эпон (Epon resin, PELCO®) для изучения ультраструктуры клеток. Ультратонкие срезы были приготовлены с помощью алмазного ножа на ультрамикротоме LKB Ultracut III ultramicrotome (Sweden), монтированы на медные сетки, покрытые формваровой пленкой. Срезы контрастировали в 2,0 % растворе уранил ацетата 20 минут и в растворе цитрата 4 мин. при комнатной температуре. Срезы были просмотрены на электронном микроскопе Hitachi 7800 (Japan).

*Морфометрия и статистическая обработка результатов.* Микроскопические исследования позволили количественно определить размеры структуры трихома, включая ее высоту и диаметр головки. Оценка трихомов проводилась с использованием программной платформы ZEN 3.1, разработанной компанией Carl Zeiss. Всего в выборке было учтено 30-40 измерений на 3-х препаратах (с использованием 10-13 растений каждого вида). Количественное определение плотности железистых трихомов в исследуемых органах проводилось на площади 1 мм<sup>2</sup>. Последующий статистический анализ и обработка данных были выполнены с использованием Microsoft Excel.

*Выделение эфирных масел.* Надземные части растений собирали в стадии цветения. Эфирное масло выделяли методом гидродистилляции в течение 3 часов. Масло экстрагировали смесью пентан-диэтилового эфира (1:1). Органические вытяжки объединяли, сушили сульфатом натрия, растворители удаляли в вакууме в роторном испарителе при температуре не более 40°C. Эфирное масло хранили в темноте в герметично закрытых стеклянных флаконах при +4°C.

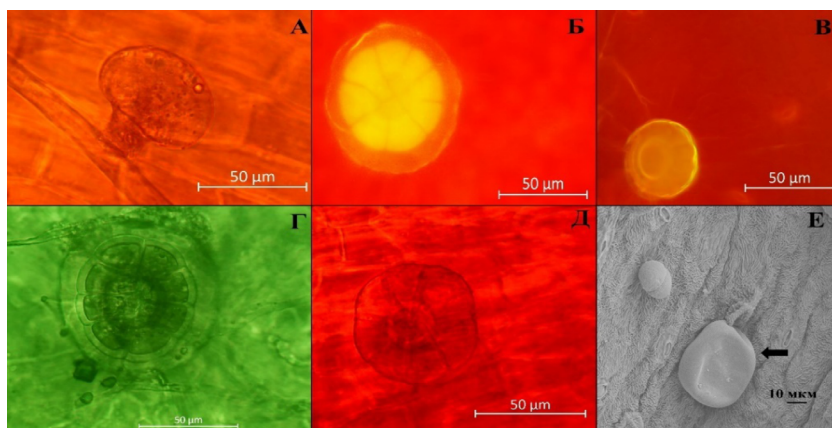
*Биологическая активность.* Значение минимальная подавляющая концентрация (МПК) определяли методом серийных разведений в среде Мюл-

лер-Хинтона с использованием 96-луночных стерильных планшетов. В первую лунку вносили испытуемое вещество в концентрации, в 2 раза превышающую максимальную (конц), в объеме 200 мкл и проводили серию двукратных разведений средой до требуемой минимальной концентрации вещества. Затем в каждую лунку вносили приготовленный инокулюм – 100 мкл ночной культуры с плотностью бактериальной суспензии  $10^6$  КОЕ/мл и инкубировали при  $37^{\circ}\text{C}$  в статических условиях. Минимальную подавляющую концентрацию определяли, как наименьшую концентрацию вещества, при которой полностью отсутствовал бактериальный рост на 24 час инкубации согласно разработанной методики [24].

### Результаты и их обсуждение

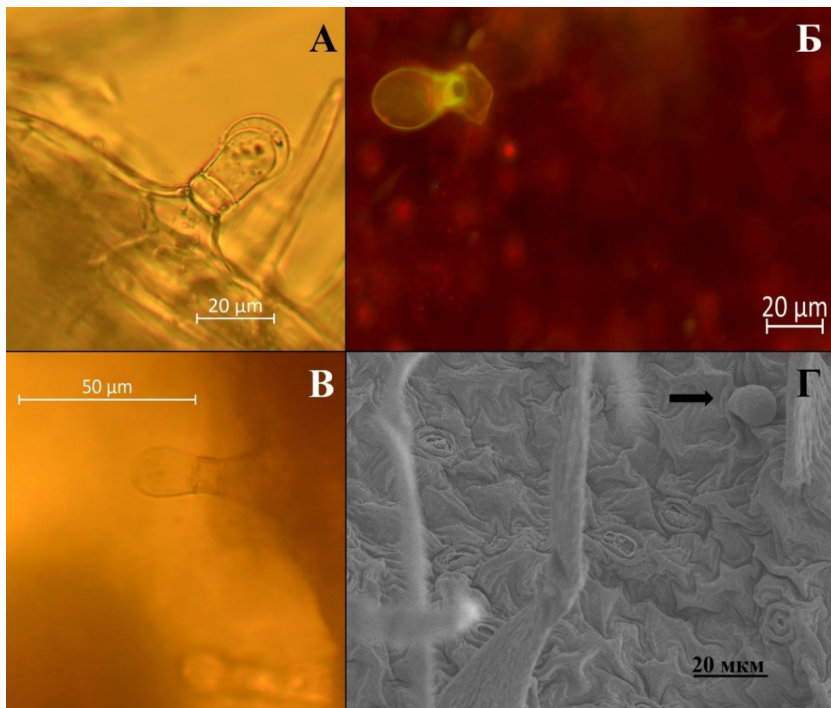
Анализ микроскопических препаратов позволил выявить в эпидерме стеблей, листьев и чашелистиков исследованных видов 5 типов железистых трихом: пельтатные (р) и головчатые (с).

р – пельтатные трихомы (железки), состоящие из базальной клетки, встроенной в эпидермис, короткой ножки и большой круглой многоклеточной головки, состоящей из восьми или более секреторных клеток (обычно включает 12 клеток), при этом четыре центральных клетки окружены восемью периферическими клетками (рис. 1 А-Г, Е); иногда секреторная головка состоит из 4-8 клеток, как у *Lamium maculatum* (рис. 1 Д).



**Рис. 1.** Общий вид пельтатных трихом (р) с использованием оптического (А-Д) и сканирующего (Е) микроскопа в эпидерме: *Betonica officinalis* (А), *Salvia tesquicola* (Б), *Clinopodium vulgare* (В), *Salvia verticillata* (Г), *Lamium maculatum* (Д), *Salvia verticillata* (Е)

c1a – короткие головчатые трихомы, состоящие из базальной эпидермальной клетки с короткой кутинизированной одноклеточной ножкой и одноклеточной эллипсоидной головкой (рис. 2).

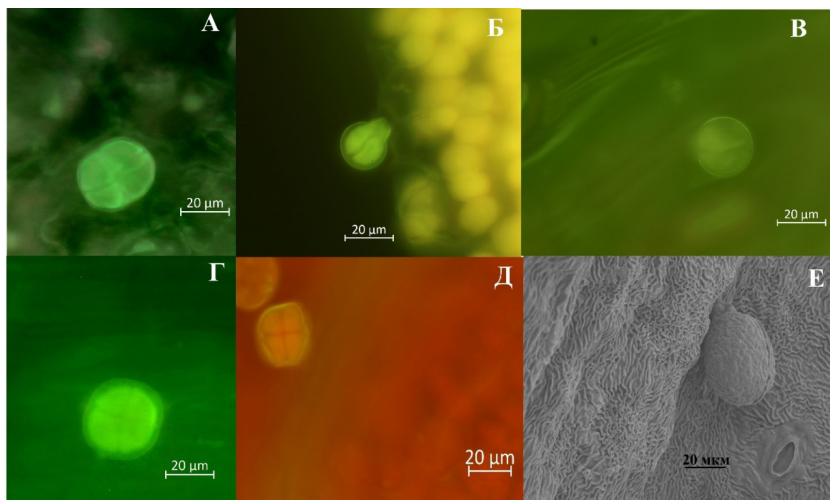


**Рис. 2.** Общий вид головчатых железистых трихом (c1a тип) с использованием оптического (А-В) и сканирующего (Г) микроскопа в эпидерме: *Salvia tesquicola* (А), *Clinopodium vulgare* (Б), *Salvia verticillata* (В), *Clinopodium vulgare* (Г)

c1b – короткие головчатые трихомы, состоящие из одной базальной эпидермальной клетки, короткой клетки стебля (шейки) и головки из трех-четырех секретирующих клеток (рис. 3);

c2 – длинные головчатые трихомы, состоящие из базальной эпидермальной клетки и стебля из 1-3 клеток, кутинизированной клетки-шейки и головки из 1-4 секретирующих клеток (рис. 4).

c3 – длинные головчатые трихомы: состоят из длинного стебля из двух или более клеток, кутинизированной клетки-шейки и головки, образованной шестью секретирующими клетками (рис. 5).

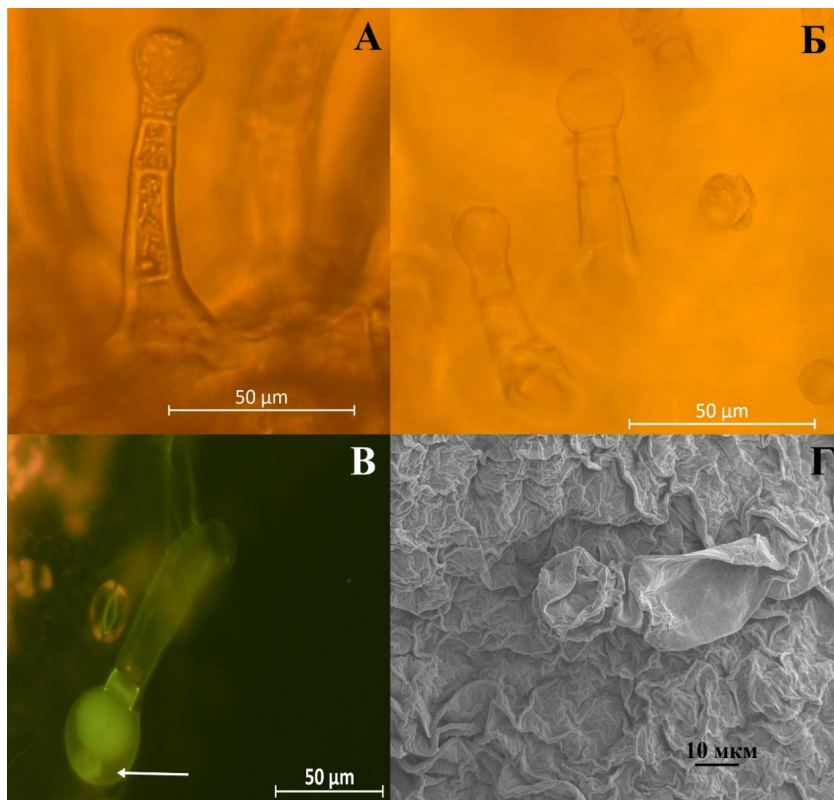


**Рис. 3.** Общий вид головчатых железистых трихом (с1b тип) с использованием оптического (А-Д) и сканирующего (Е) микроскопа в эпидерме: *Betonica officinalis* (А), *Salvia tesquicola* (Б), *Salvia verticillata* (В), *Lamium maculatum* (Г), *Stachys sylvatica* (Д), *Salvia verticillata* (Е)

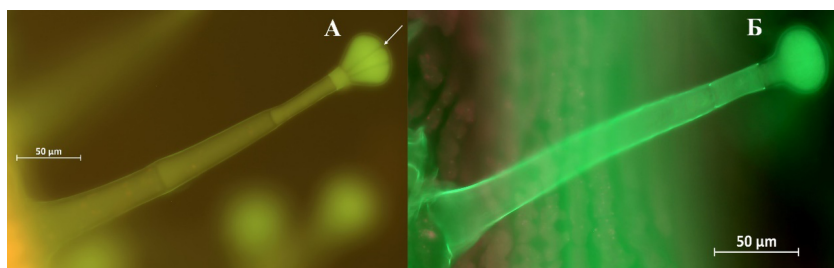
По нашим данным наибольшее типологическое разнообразие железистых трихом (4 типа), включая как сидячие, так и головчатые, выявлено для *Salvia tesquicola* и *S. verticillata*, низкое (2 типа) – у *Betonica officinalis* и *Lamium maculatum* (табл. 1). Железистые трихомы преимущественно развиваются на абаксиальной стороне листа, а также стебле и чашечке, в то время как на адаксиальной стороне листа их участие и разнообразие незначительное. Визуальное наблюдение и количественной подсчет позволил нам выделить 4 градации плотности железистых трихом: редко ( $\leq 6$  шт/мм<sup>2</sup>), спорадически (7-13 шт/мм<sup>2</sup>), обильно (14-30 шт/мм<sup>2</sup>) и очень обильно ( $\geq 31$  шт/мм<sup>2</sup>).

Пельтатные трихомы (р) встречаются спорадически (7-11.2 шт/мм<sup>2</sup>) на абаксиальной стороне листа и чашелистиках, а также сравнительно редко (2.4-4.4 шт/мм<sup>2</sup>) на стебле у всех изученных видов, только у *Stachys sylvatica* отсутствуют (табл. 1).

Наибольшее их количественное участие обнаружено в эпидерме абаксиальной стороны листа *Salvia verticillata* (11.2 шт/1 мм<sup>2</sup>). Ранее Z. Atalay [6] отмечал отсутствие пельтатных трихом в стебле и листьях *Lamium maculatum*, однако, по нашим данным они содержатся в эпидерме всех исследованных органов *L. maculatum*, собранных в Республике Татарстан.



**Рис. 4.** Общий вид головчатых железистых трихом (с2 типа) с использованием оптического (А-В) и сканирующего (Г) микроскопа в эпидерме *Salvia tesquicola* (А), *Salvia verticillata* (Б), *Stachys sylvatica* (В), *Stachys sylvatica* (Г)



**Рис. 5.** Общий вид головчатых железистых трихом (с3 тип) с использованием оптического микроскопа в эпидерме *Stachys sylvatica* (А), *Clinopodium vulgare* (Б)

Таблица. 1.

Плотность железистых трихом (шт/мм<sup>2</sup>) в эпидерме надземных органах представителей семейства Lamiaceae

		leaf		stem	calyx
		adaxial side	abaxial side		
<i>Betonica officinalis</i>	p	1± 0.1	7.4± 0.4	2.7± 0.2	7.3± 0.3
	c1a	–	–	–	–
	c1b	7.5± 0.4	11.4± 0.3	7.3± 0.3	8.9± 0.3
	c2	–	–	–	–
	c3	–	–	–	–
<i>Clinopodium vulgare</i>	p	–	6.2 ± 0.4	2.6 ± 0.2	4.3 ± 0.3
	c1a	–	21.6 ± 0.8	42.3 ± 0.9	8.1 ± 0.3
	c1b	–	–	–	–
	c2	–	–	–	–
	c3	–	–	–	–
<i>Lamium maculatum</i>	p	–	7± 0.3	4.4± 0.2	8.7± 0.3
	c1a	–	–	–	–
	c1b	15.3± 0.5	34.4± 0.5	18.4± 0.7	22± 0.5
	c2	–	–	–	–
	c3	–	–	–	–
<i>Salvia tesquicola</i>	p	–	8.7± 0.4	–	10.2 ± 0.4
	c1a	–	2.1± 0.2	1.6± 0.1	3.8± 0.2
	c1b	15.2± 0.4	18.5± 1.2	15.1± 1.3	28.1± 1
	c2	–	59.8± 5	93.4± 4.8	12.8± 0.6
	c3	–	–	–	–
<i>Salvia verticillata</i>	p	–	11.2± 0.5	2.4± 0.2	10.7± 0.3
	c1a	–	3.7± 0.2	1.8± 0.1	4.4± 0.2
	c1b	12.5± 0.4	19.8± 0.7	29.3± 0.7	31.2± 0.6
	c2	–	–	46.8± 1.1	4.8± 0.4
	c3	–	–	–	–
<i>Stachys sylvatica</i>	p	–	–	–	–
	c1a	–	–	–	–
	c1b	4.5 ± 0.4	10.4 ± 0.5	10.5 ± 0.4	40.3 ± 0.8
	c2	–	18.6 ± 0.5	10.8 ± 0.4	14.3 ± 0.6
	c3	–	–	–	11.9 ± 0.4

Головчатые трихомы c1a типа формируются на абаксиальной стороне листа, стебле и чашечки у трех из исследованных видов, при этом у *Salvia*

*verticillata* и *S. tesquicola* они встречаются редко (1.6-4.4 шт/мм<sup>2</sup>) в составе исследованных органов, а у *Clinopodium vulgare* на стебле и абаксиальной стороне листа – очень обильно и обильно (42.3 и 21.6 шт/мм<sup>2</sup> соответственно), в эпидерме чашечки – спорадически (8.1 шт/мм<sup>2</sup>). У остальные виды данный тип трихом не обнаружен.

Головчатые трихомы c1b типа встречаются преимущественно спорадически, обильно или очень обильно в эпидерме различных органов всех видов, за исключением *Clinopodium vulgare*, у которого они отсутствуют. Это единственный тип железистых трихом, который встречается не только на абаксиальной, но и на адаксиальной стороне листа. Наиболее высокая их плотность (31.2- 40.3 шт/мм<sup>2</sup>) характерна для чашелистиков *Stachys sylvatica* и *Salvia verticillate*, а также абаксиальной стороны листа *Lamium maculatum*.

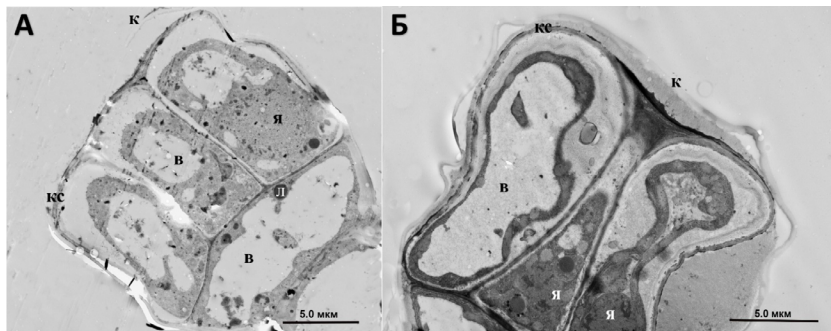
Головчатые трихомы c2 типа характерны только для *Salvia tesquicola*, *S. verticillata* и *Stachys sylvatica*. Очень обильно (46.8-93.4 шт/мм<sup>2</sup>) c2 трихом развиты на стебле обоих видов *Salvia* и абаксиальной стороне листа *S. tesquicola*, спорадически и редко (5-18.6 шт/мм<sup>2</sup>) – в эпидерме всех органов *Stachys sylvatica* и чашечке разных видов *Salvia*.

Наиболее слабо у исследованных видов представлены головчатые трихомы c3 типа, которые развиваются спорадически только на чашелистиках *Stachys sylvatica* и *Clinopodium vulgare*, при этом их плотность не превышает 11.9 шт/мм<sup>2</sup>.

Изучение особенностей ультраструктуры железистых трихом в составе региональных популяций *Salvia tesquicola* и *Stachys sylvatica* показало, что клетки головки трихом c1b и c2 типов имеют вытянутую форму, а клетки шейки значительно короче (рис. 6, 7). Поверхностный аппарат клеток головки состоит из клеточной стенки слоистой структуры с кутикулой на поверхности. В апикальной части клетки происходит отслоение кутикулы с образованием субкутикулярной полости, где накапливается секрет. На месте отслоения заметна густая фибриллярная сеть, образованная пектинами (рис. 7 Б).

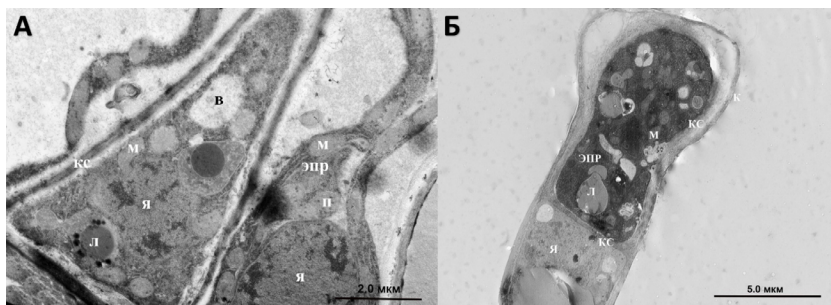
Анализ общего плана строения показал, что клетки головки и шейки ядерные и содержат одну большую или несколько мелких вакуолей, при этом ядро занимает сравнительно большой объем цитоплазмы (рис. 6 А, 6 Б, 7 Б). В клетках головки железистых трихом c1b и c2 типов клеточный сок вакуолей имеет хлопьевидное содержимое, цитоплазма более густая и богатая органеллами, среди которых развита агранулярная эндоплазматическая сеть, митохондрии и пластиды (рис. 7 А, 7 Б). Гладкий эндоплазматический ретикулум окружает вакуоли, пластиды и митохондрии. Цитоплазма клеток шейки содержит сравнительно меньше органелл (рис.

7 Б). При этом, в цитоплазме и клетках головки и шейки обнаружены липидные капли, что указывает на активную продукцию терпенов (рис. 6, 7).



**Рис. 6.** (А) Общий план ультраструктуры железистой трихомы s1b типа на чашелистиках *Stachys sylvatica*; (Б) Общий план ультраструктуры железистых клеток трихом s1b типа на абаксиальной стороне листа *Stachys sylvatica* (Б).

Примечание: К – кутикула, КС – клеточная стенка, В – вакуоль, Я – ядро, Л – липидная капля



**Рис. 7.** (А) Цитоплазма железистых клеток трихом s1b типа на абаксиальной стороне листа *Stachys sylvatica*; (Б) Цитоплазма железистых клеток у трихом s2 типа на абаксиальной стороне листа *Salvia tesquicola*. Примечание: К – кутикула,

КС – клеточная стенка, В – вакуоль, Я – ядро, ЭПР – эндоплазматический ретикулум, П – пластида, М – митохондрии, Л – липидная капля

Ранее ультраструктурные наблюдения цитоплазмы железистых клеток головчатых и пельтатных трихом *Salvia uliginosa* и *S. greggii* показали обилие пластид и хорошо развитый перипластидный гладкий эндоплазматический ретикулум, которые отвечают за синтез и транспорт терпеновых веществ и полифенолов [14; 15]. По данным этих исследований внутри пластид синтезируются предшественники монотерпенов, в част-

ности лейкопласты участвуют в синтезе изопреноидов эфирных масел и их накоплении, в дальнейшем эфирные масла выделяются из клеток в субкутикулярное пространство, при этом секрет может выводиться через поры в кутикуле или путем разрыва кутикулы.

Таким образом, проведенные нами микроскопические исследования головчатых трихом *Salvia tesquicola* и *Stachys sylvatica* подтвердили наличие ряда ультраструктурных свойств, общих для метаболически активных клеток, участвующих в секреции эфирных масел, а именно, относительно большое ядро, наличие пластид, которые тесно связаны с гладким эндоплазматическим ретикулумом, а также липидные капли, которые располагаются в пластидах или в цитоплазме как головчатых клеток, так и клеток шейки.

Проведенный процесс гидродистилляции растительного сырья исследованных видов позволил определить, что в условиях Республики Татарстан наибольшее количество эфирного масла синтезируется и накапливается в надземных органах *Salvia verticillata* (0.38%) и *Clinopodium vulgare* (0.37%). У *Betonica officinalis* и *Stachys sylvatica* выход эфирного масла сравнительно ниже (0.3 % и 0.27 % соответственно), а у *Lamium maculatum* и *Salvia tesquicola* наиболее низкое накопление эфирного масла в условиях Республики Татарстан (0.13 % и 0.15 % соответственно). По данным других исследователей у *Salvia tesquicola* на территории России и странах ближнего зарубежья его содержание находится в пределах 0.11-0.20 % [4; 33], что соответствует нашим данным.

Анализ литературных данных показал, что в засушливых условиях субтропиков Юго-Западной Азии у растений *Salvia verticillata*, *Stachys sylvatica* и *Clinopodium vulgare* выход эфирного масла составляет 0.2-0.3 % [19; 22; 28; 34], что ниже на 21- 26 % по сравнению с популяциями Республики Татарстан. На юге центральной Европы со сравнительно более влажным климатом, в растительном сырье *Salvia verticillata* его значения колеблются от 0.4 % до 0.42 % [22], что сопоставимо с нашими данными, однако, у *Betonica officinalis* – 0.5 % [7], выше на 67 % по сравнению с полученными нами результатами. При акклиматизации и выращивании *Lamium maculatum* на экспериментальных площадках выход эфирного масла у *Lamium maculatum* может увеличиваться до 0.35 % [11].

Увеличение устойчивости микроорганизмов к антибиотикам вынуждает к расширению использования эфирных масел растений в качестве альтернативного средства в борьбе с резистентными патогенами, механизмы действия которых включают разрушение клеточных мембран бактерий и

ингибирование метаболических процессов, что отличается от действия традиционных антибиотиков [20; 35].

Экспериментальная оценка свойств эфирного масла у исследованных видов показала, что наилучшей антибактериальной активностью в отношении грамположительных (*Staphylococcus aureus*) и грамотрицательных (*Pseudomonas aeruginosa*) бактерий в минимальных подавляющих концентрациях (0,25 и 0,125 %) обладает эфирное масло, выделенное из *Clinopodium vulgare*, и эфирное масло *Stachys sylvatica* в концентрациях 0,25 и 0,5 % (табл. 2).

Таблица. 2.

**Антимикробная активность представителей семейства Lamiaceae**

Виды	Рабочие концентрации р-ров, %	
	<i>Staphylococcus aureus</i> ATCC	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> ATCC
<i>Betonica officinalis</i>	0.25 %	1 %
<i>Clinopodium vulgare</i>	0.25 %	0.125 %
<i>Lamium maculatum</i>	0.125 %	1 %
<i>Salvia tesquicola</i>	0.25 %	> 1 %
<i>Salvia verticillata</i>	0.25 %	> 1 %
<i>Stachys sylvatica</i>	0.25 %	0.5 %

Кроме того, эфирное масло других исследованных видов активно против грамположительных бактерий в концентрации растворов 0.125 и 1 %. Ранее в исследованиях показано антибактериальное действие эфирного масла *Clinopodium vulgare* на грамположительные бактерии (*S. aureus*) при минимальных подавляющих концентрациях 0,625 % [36]. Кроме того, показано действие эфирного масла *Stachys sylvatica* против грамположительных и грамотрицательных бактерий и особенно против грамположительных штаммов (МПК 1%), а также антибактериальная и противогрибковая активность эфирного масла *Salvia verticillata* (МПК 0.30 % у *S. aureus*) [17; 25; 27; 29; 42]. Следовательно, антимикробная активность эфирного масла, выделенного из растительного сырья *Clinopodium vulgare*, *Stachys sylvatica* и *Salvia verticillate* выше в условиях Республики Татарстан.

### Заключение

Изучение микроморфологии и ультраструктуры железистых трихом у *Betonica officinalis*, *Clinopodium vulgare*, *Lamium maculatum*, *Salvia tesquicola*, *S. verticillate* и *Stachys sylvatica*, произрастающих в естественных фитоце-

нозах на территории Республики Татарстан, позволило расширить существующие данные о трихомах этих видов, что имеет большое значение для систематики и идентификации этих таксонов, а также определить региональные особенности функционирования экскреторных структур.

В эпидерме стеблей, листьев и чашелистиков исследованных видов было обнаружено 5 типов железистых трихом. Наибольшее их типологическое разнообразие (4 типа) выявлено у *Salvia tesquicola* и *S. verticillate*. Нами впервые описаны короткие и длинные головчатые трихомы c1a, c3 типов, приведены данные об их плотности в эпидерме различных органов *Clinopodium vulgare*, трихомы c1b, c2, c3 типов в эпидерме стеблей *Stachys sylvatica* и *Betonica officinalis*, а также отмечено наличие пельтатных железок (p) в эпидерме стеблей, листьев и чашелистиков *L. maculatum*.

Установлено, что пельтатные трихомы, которые на абаксиальной стороне листа и чашелистиках развиваются спорадически (7-10.2 шт/мм<sup>2</sup>), а на стебле редко (2.4-4.4 шт/мм<sup>2</sup>) или они отсутствуют, отмечены у всех изученных видов кроме *Stachys sylvatica*. Короткие трихомы с головкой из трех-четырёх секреторирующих клеток (c1b), развивающиеся в эпидерме на обеих сторонах листа и других органов, встречаются спорадически или обильно (6-30 шт/мм<sup>2</sup>), на чашелистиках обильно или очень обильно (22-40.3 шт/мм<sup>2</sup>) у всех видов кроме *Clinopodium vulgare*.

Видоспецифичными с высокой степенью встречаемости для *Clinopodium vulgare* выступают короткие с одноклеточной эллипсоидной головкой (c1a) трихомы, для *Salvia verticillate* и *S. tesquicola* – длинные с 1-4 клеточной головкой (c2), *Stachys sylvatica* – с 6 клеточной головкой (c3) типов.

Изучение ультраструктуры головчатых трихом c1b у *Stachys sylvatica* и c2 у *Salvia tesquicola* позволило выявить, что клетки головки имеют кутикулу, которая в апикальной части образует субкутикулярную полость, где накапливается секрет. В клетках головки относительно большое ядро, крупная вакуоль, густая цитоплазма с большим содержанием митохондрий, пластид, гладкого эндоплазматического ретикулума, а также липидных капель.

Наибольшая продукция эфирного масла (0,38-0,37%), полученного методом гидродистилляции из надземных органов растений, характерна для *Salvia verticillata* и *Clinopodium vulgare*, низкая его продуктивность (0,13-0,15%) – для *Stachys sylvatica* и *Salvia tesquicola*. Эфирное масло, выделенное из *Clinopodium vulgare*, обладает наилучшей антибактериальной активностью в отношении грамположительных и грамотрицательных бактерий в минимальных подавляющих концентрациях 0,25 и 0,125% соответственно, а также *Stachys sylvatica* в концентрациях 0,25 и 0,5% соответственно.

Следовательно, растительное сырье *Salvia verticillata* и *Clinopodium vulgare* можно рекомендовать для прикладного использования в связи с высокими количественными значениями и качественной характеристикой эфирного масла, продуцированного в железистых трихомах эпидермы надземных органов.

**Информация о конфликте интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Информация о спонсорстве.** Работа выполнена за счет средств Программы стратегического академического лидерства Казанского (Приволжского) федерального университета (ПРИОРИТЕТ-2030).

#### Список литературы

1. Бакин, О. В., Рогова, Т. В., & Ситников, А. П. (2000). *Сосудистые растения Татарстана*. Казань: Издательство Казанского университета. 496 с.
2. Бобров, Е. Г., Ворошилов, В. Н., Гладкова, В. Н., Дервиз-Соколова, Т. Г., Иконников, С. С., Линчевский, И. А., Меницкий, Ю. Л., Письякуова, В. В., Победимова, Е. Г., Пояркова, А. И., Фёдоров, А. А., & Цвелев, Н. Н. (1978). *Флора европейской части СССР* (Т. 3). Ленинград: Наука. 259 с.
3. Буданцев, А. Л. (2011). *Растительные ресурсы России: Дикорастущие цветковые растения, их компонентный состав и биологическая активность* (Т. 4: Семейства Cargifoliaceae–Lobeliaceae). Санкт-Петербург; Москва: Товарищество научных изданий КМК. 630 с. EDN: <https://elibrary.ru/SNBOTZ>
4. Хайдукова, Е. В., Надеждин, Д. В., Коссиор, Л. А., & Теслов, Л. С. (2003). Антимикробная активность сухих экстрактов из надземной части *Salvia tesquicola* Klok. et Pobed. и листьев *S. officinalis* L. *Растительные ресурсы*, 39(3), 134–136. EDN: <https://elibrary.ru/OJUGBJ>
5. Agustín, Y. T., Ermayanti, E., & Susanti, R. (2022). Leaf trichomes identification in Lamiaceae family plants and contribution to high school biology learning. *JPBIO (Jurnal Pendidikan Biologi)*, 7(1), 20–35. <https://doi.org/10.31932/jpbio.v7i1.1310>. EDN: <https://elibrary.ru/DCZOHB>
6. Atalay, Z., Celep, F., Bara, F., & Doğan, M. (2016). Systematic significance of anatomy and trichome morphology in *Lamium* (Lamioideae; Lamiaceae). *Flora — Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 225, 60–75. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2016.10.006>. EDN: <https://elibrary.ru/XUAXZN>
7. Chalchat, J. C., Petrovic, S. D., Maksimovic, Z. A., & Gorunovic, M. S. (2001). Essential oil of *Stachys officinalis* (L.) Trevis. (Lamiaceae) from Montenegro.

- Journal of Essential Oil Research*, 13(4), 286–287. <https://doi.org/10.1080/10412905.2001.9699695>
8. Cui, H., Zhang, X., Zhou, H., Zhao, C., & Lin, L. (2015). Antimicrobial activity and mechanisms of *Salvia sclarea* essential oil. *Botanical Studies*, 56(1), 1–8. <https://doi.org/10.1186/S40529-015-0096-4>. EDN: <https://elibrary.ru/OACK-MX>
  9. Dimitrova-Dyulgerova, I., Merdzhanov, P., Todorov, K., Seymenska, D., Stoyanov, P., Mladenov, R., & Stoyanova, A. (2015). Essential oils composition of *Betonica officinalis* L. and *Stachys sylvatica* L. (Lamiaceae) from Bulgaria. *Comptes rendus de l'Académie bulgare des Sciences*, 68(8), 991–998.
  10. Dülge, G., & Dülger, B. (2022). Antibacterial activity of *Stachys sylvatica* against some human eye pathogens. *Natural Engineering Sciences*, 7(2), 131–135. <https://doi.org/10.28978/nesciences.1159224>. EDN: <https://elibrary.ru/JLLQJS>
  11. El-Sayed, Z. I. A. (2008). Chemical composition, antimicrobial and insecticidal activities of the essential oil of *Lamium maculatum* L. grown in Egypt. *Bioscience, Biotechnology Research Asia*, 5(1), 65–72.
  12. Eyvazadeh Khosroshahi, E., & Salmaki, Y. (2019). Evolution of trichome types and its systematic significance in the genus *Phlomooides* (Lamioideae-Lamiaceae). *Nordic Journal of Botany*, 37(5). <https://doi.org/10.1111/njb.02132>. EDN: <https://elibrary.ru/MBCUBG>
  13. Forouzin, F., Jamei, R., & Heidari, R. (2015). Compositional analysis and antioxidant activity of volatile components of two *Salvia* spp. *Tropical Journal of Pharmaceutical Research*, 14(11), 2009–2013. <https://doi.org/10.4314/tjpr.v14i11.9>
  14. Giuliani, C., Ascrizzi, R., Corrà, S., Bini, L. M., Flamini, G., & Fico, G. (2017). Ultrastructural insight into terpene-producing trichomes and essential oil profile in *Salvia greggii* A. Gray. *Flora*, 236, 107–114. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2017.10.004>
  15. Giuliani, C., Ascrizzi, R., Tani, C., Bottoni, M., Bini, L. M., Flamini, G., & Fico, G. (2017). *Salvia uliginosa* Benth.: Glandular trichomes as bio-factories of volatiles and essential oil. *Flora*, 233, 12–21. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2017.05.002>
  16. Grujić, S. M., Savković, Ž. D., Ristić, M. S., Džamić, A. M., Grbić, M. V. L., Vukojević, J. B., & Marin, P. D. (2020). Glandular trichomes, essential oil composition, anti-*Aspergillus* and antioxidative activities of *Lamium purpureum* L. ethanolic extracts. *Archives of Biological Sciences*, 72(2), 253–263. <https://doi.org/10.2298/ABS200117019G>. EDN: <https://elibrary.ru/QWKCIA>

17. Grujic-Jovanovic, S., & Skaltsa, H. D., Marin, P., & Sokovic, M. (2004). Composition and antibacterial activity of the essential oil of six *Stachys* species from Serbia. *Flavour and Fragrance Journal*, 19(2), 139–144. <https://doi.org/10.1002/ffj.1275>
18. Gul, S., Ahmad, M., Zafar, M., Bahadur, S., Sultana, S., Ashfaq, S., Ullah, F., Kilic, O., Hassan, F., & Siddiq, Z. (2019). Foliar epidermal anatomy of Lamiaceae with special emphasis on their trichomes diversity using scanning electron microscopy. *Microscopy Research and Technique*, 82(3), 206–223. <https://doi.org/10.1002/JEMT.23157>
19. Hayta, S., Dogan, G., Yuce, E., & Bageci, E. (2015). Composition of the essential oil of two *Salvia* taxa (*Salvia sclarea* and *Salvia verticillata* subsp. *verticillata*) from Turkey. *Natural Science Discovery*, 1(3), 62–67. <https://doi.org/10.20863/nsd.23928>
20. Hou, T., Sana, S. S., Li, H., Xing, Y., Nanda, A., Netala, V. R., & Zhang, Z. (2022). Essential oils and their antibacterial, antifungal and antioxidant activity applications: A review. *Food Bioscience*, 47, 101716. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101716>. EDN: <https://elibrary.ru/IAYATM>
21. Kılıç, Ö., Kutlu, M. A., & Özdemir, F. A. (2017). Essential oil composition of *Clinopodium vulgare* L. subsp. *arundanum* (Boiss.) Nyman from Bingöl (Turkey). *International Journal of Secondary Metabolism*, 4(3), 11–15. <https://doi.org/10.21448/ijsm.356245>
22. Krstic, L., Malencic, D., & Anackov, G. (2006). Structural investigations of trichomes and essential oil composition of *Salvia verticillata*. *Botanica Helvetica*, 116, 159–168. <https://doi.org/10.1007/s00035-006-0767-6>. EDN: <https://elibrary.ru/YQVTNQ>
23. Lazarević, J. S., Đorđević, A. S., Kitić, D. V., Zlatković, B. K., & Stojanović, G. S. (2013). Chemical composition and antimicrobial activity of the essential oil of *Stachys officinalis* (L.) Trevis. (Lamiaceae). *Chemical Biodiversity*, 10(7), 1335–1349. <https://doi.org/10.1002/cbdv.201200332>
24. Leclercq, R., Cantón, R., Brown, D. F., Giske, C. G., Heisig, P., MacGowan, A. P., Mouton, J. W., Nordmann, P., Rodloff, A. C., Rossolini, G. M., Soussy, C.-J., Steinbakk, M., Winstanley, T. G., & Kahlmeter, G. (2013). EUCAST expert rules in antimicrobial susceptibility testing. *Clinical Microbiology and Infection*, 19(2), 141–160. <https://doi.org/10.1111/j.1469-0691.2011.03703.x>
25. Mahdavi, M., Jouri, M. H., Mahzooni-Kachapi, S., & Halimi'Jelodar, S. (2015). Study of chemical composition and antibacterial effects of essential oils of *Stachys lavandulifolia* Vahl., *Salvia verticillata* L., and *Tanacetum polyceph-*

- alum Schultz-Bip. on some microbial lineages. *International Journal of Pharmacy and Allied Sciences*, 4(3), 197–206.
26. Mahmoud, S. S., Maddock, S., & Adal, A. M. (2021). Isoprenoid metabolism and engineering in glandular trichomes of Lamiaceae. *Frontiers in Plant Science*, 12, 699157. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.699157>. EDN: <https://elibrary.ru/GUBHMV>
  27. Matkowski, A., Zielińska, S., Oszmiański, J., & Lamer-Zarawska, E. (2008). Antioxidant activity of extracts from leaves and roots of *Salvia miltiorrhiza* Bunge, *S. przewalskii* Maxim., and *S. verticillata* L. *Bioresource Technology*, 99(16), 7892–7896. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.02.013>
  28. Morteza-Semnani, K., Saeedi, M., & Akbarzadeh, M. (2009). The essential oil composition of *Clinopodium vulgare* L. from Iran. *Journal of Essential Oil Research*, 21(1), 31–32. <https://doi.org/10.1080/10412905.2009.9700100>
  29. Mukhamedsadykova, A. Z., Kasela, M., Kozhanova, K. K., Sakipova, Z. B., Kukuła-Koch, W., Józefczyk, A., Świątek, Ł., Rajtar, B., Iwan, M., Kołodziej, P., Ludwiczuk, A., Kadyrbayeva, G. M., Kuntubek, G. N., Mamatova, A. S., Bogucka-Kocka, A., & Malm, A. (2024). Anthelmintic and antimicrobial effects of hedge woundwort (*Stachys sylvatica* L.) growing in Southern Kazakhstan. *Frontiers in Pharmacology*, 15, 1386509. <https://doi.org/10.3389/fphar.2024.1386509>. EDN: <https://elibrary.ru/BXZIDY>
  30. Nasermoadei, S., Rowshan, V., Abotalebi, A., Nasermoadei, L., & Charkhchian, M. M. (2013). Comparison of *Salvia verticillata* essential oil components in wild and cultivated population. *Annals of Biological Research*, 4(5), 252–255.
  31. Opalchenova, G., & Obreshkova, D. (1999). Antibacterial action of extracts of *Clinopodium vulgare* L. curative plant. *Drug Development and Industrial Pharmacy*, 25(3), 323–328. <https://doi.org/10.1081/DDC-100102177>
  32. Pedro, B. C., Benites, J., Ríos, D., Guerrero-Castilla, A., Enríquez, C., Zavala, Z., Ybañez-Julca, R. O., Quispe-Díaz, I., & Jara-Aguilar, R. (2021). Chemical composition and assessment of antimicrobial, antioxidant and antiproliferative activities of essential oil from *Clinopodium sericeum*, a Peruvian medicinal plant. *Records of Natural Products*, 15(3), 175–186. <https://doi.org/10.25135/RNP.213.20.10.1845>. EDN: <https://elibrary.ru/SCMHRQ>
  33. Petrova, V. P., Burachins'ka, N. S., & Pobirchenko, G. A. (1974). Content of essential oil and polyphenols in some sage species introduced into the Ukrainian forest steppe. *Ukrains'kii Botanichnii Zhurnal*, 31(1), 13–17.
  34. Rezazadeh, S., Piralı-Hamedani, M., Hadjiakhondi, A., Ajani, Y., Yari-gar-Ravesh, M., & Shafiee, A. (2009). Chemical composition of the essential

- oils of *Stachys atherocalyx* and *S. sylvatica* from Iran. *Chemistry of Natural Compounds*, 45, 742–744. <https://doi.org/10.1007/s10600-009-9417-8>. EDN: <https://elibrary.ru/YAWWKL>
35. Schelz, Z., Hohmann, J., & Molnár, J. (2010). Recent advances in research of antimicrobial effects of essential oils and plant derived compounds on bacteria. In D. Chattopadhyay (Ed.), *Ethnomedicine: A Source of Complementary Therapeutics* (pp. 179–201). Kerala: Research Signpost. ISBN: 978-81-308-0390-6
  36. Stefanovic, O., Stankovic, M. S., & Comic, L. (2011). In vitro antibacterial efficacy of *Clinopodium vulgare* L. extracts and their synergistic interaction with antibiotics. *Journal of Medicinal Plant Research*, 5(17), 4074–4079. <https://doi.org/10.5897/JMPR.9000735>
  37. Tang, H. M., Jiang, Q., Liu, H. Y., Zhang, F., Liu, Q., Pu, G. B., Li, J., Wang, L. N., & Zhang, Y. Q. (2022). Glandular trichomes of medicinal plants: types, separation and purification, biological activities. *Biologia Plantarum*, 66, 219–227. <https://doi.org/10.32615/bp.2022.027>. EDN: <https://elibrary.ru/CPLPQU>
  38. Tepe, B., Sihoglu-Tepe, A., Daferera, D., Polissiou, M., & Sokmen, A. (2007). Chemical composition and antioxidant activity of the essential oil of *Clinopodium vulgare* L. *Food Chemistry*, 103(3), 766–770. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.09.019>
  39. Tirillini, B., Pellegrino, R., & Bini, L. M. (2004). Essential oil composition of *Stachys sylvatica* L. from Italy. *Flavour and Fragrance Journal*, 19(4), 330–332. <https://doi.org/10.1002/ffj.1308>
  40. Totmaj, L. H., & Salmaki, Y. (2022). Pollen and trichome morphology of tribe Stachydeae (Lamiaceae) and its phylogenetic significance. *Turkish Journal of Botany*, 46(3), 205–229. <https://doi.org/10.55730/1300-008x.2683>. EDN: <https://elibrary.ru/TNZCXI>
  41. Vundac, V. B., Pfeifhofer, H. W., Brantner, A. H., Males, Z., & Plazibat, M. (2006). Essential oils of seven *Stachys* taxa from Croatia. *Biochemical Systematics and Ecology*, 34(12), 875–881. <https://doi.org/10.1016/j.bse.2006.04.010>. EDN: <https://elibrary.ru/XTBLLW>
  42. Yousefzadi, M., Sonboli, A., Karimi, F., Ebrahimi, S. N., Asghari, B., & Zeinali, A. (2007). Antimicrobial activity of some *Salvia* species essential oils from Iran. *Zeitschrift für Naturforschung C*, 62(7–8), 514–518. <https://doi.org/10.1515/znc-2007-7-809>

### References

1. Bakin, O. V., Rogova, T. V., & Sitnikov, A. P. (2000). *Vascular plants of Tatarstan*. Kazan: Kazan University Press. 496 p.

2. Bobrov, E. G., Voroshilov, V. N., Gladkova, V. N., Derviz-Sokolova, T. G., Ikonnikov, S. S., Linchevsky, I. A., Menitsky, Yu. L., Pisyaukova, V. V., Pobedimova, E. G., Poyarkova, A. I., Fedorov, A. A., & Tselev, N. N. (1978). *Flora of the European part of the USSR* (Vol. 3). Leningrad: Nauka. 259 p.
3. Budantsev, A. L. (2011). *Plant resources of Russia: Wild flowering plants, their component composition and biological activity* (Vol. 4: Families Caprifoliaceae–Lobeliaceae). St. Petersburg; Moscow: Partnership of Scientific Publications KMK. 630 p. EDN: <https://elibrary.ru/SHBOTZ>
4. Khaidukova, E. V., Nadezhdin, D. V., Kossior, L. A., & Teslov, L. S. (2003). Antimicrobial activity of dry extracts from the aerial part of *Salvia tesquicola* Klok. et Pobed. and leaves of *S. officinalis* L. *Plant Resources*, 39(3), 134–136. EDN: <https://elibrary.ru/OJUGBJ>
5. Agustin, Y. T., Ermayanti, E., & Susanti, R. (2022). Leaf trichomes identification in Lamiaceae family plants and contribution to high school biology learning. *JPBIO (Jurnal Pendidikan Biologi)*, 7(1), 20–35. <https://doi.org/10.31932/jpbio.v7i1.1310>. EDN: <https://elibrary.ru/DCZOHB>
6. Atalay, Z., Celep, F., Bara, F., & Doğan, M. (2016). Systematic significance of anatomy and trichome morphology in *Lamium* (Lamioideae; Lamiaceae). *Flora — Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 225, 60–75. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2016.10.006>. EDN: <https://elibrary.ru/XUAXZN>
7. Chalchat, J. C., Petrovic, S. D., Maksimovic, Z. A., & Gorunovic, M. S. (2001). Essential oil of *Stachys officinalis* (L.) Trevis. (Lamiaceae) from Montenegro. *Journal of Essential Oil Research*, 13(4), 286–287. <https://doi.org/10.1080/10412905.2001.9699695>
8. Cui, H., Zhang, X., Zhou, H., Zhao, C., & Lin, L. (2015). Antimicrobial activity and mechanisms of *Salvia sclarea* essential oil. *Botanical Studies*, 56(1), 1–8. <https://doi.org/10.1186/S40529-015-0096-4>. EDN: <https://elibrary.ru/OACKMX>
9. Dimitrova-Dyulgerova, I., Merdzhanov, P., Todorov, K., Seymenska, D., Stoyanov, P., Mladenov, R., & Stoyanova, A. (2015). Essential oils composition of *Betonica officinalis* L. and *Stachys sylvatica* L. (Lamiaceae) from Bulgaria. *Comptes rendus de l'Académie bulgare des Sciences*, 68(8), 991–998.
10. Dülge, G., & Dülger, B. (2022). Antibacterial activity of *Stachys sylvatica* against some human eye pathogens. *Natural Engineering Sciences*, 7(2), 131–135. <https://doi.org/10.28978/nesciences.1159224>. EDN: <https://elibrary.ru/JLLQJS>
11. El-Sayed, Z. I. A. (2008). Chemical composition, antimicrobial and insecticidal activities of the essential oil of *Lamium maculatum* L. grown in Egypt. *Bioscience, Biotechnology Research Asia*, 5(1), 65–72.

12. Eyvazadeh Khosroshahi, E., & Salmaki, Y. (2019). Evolution of trichome types and its systematic significance in the genus *Phlomoides* (Lamioideae-Lamiaceae). *Nordic Journal of Botany*, 37(5). <https://doi.org/10.1111/njb.02132>. EDN: <https://elibrary.ru/MBCUBG>
13. Forouzin, F., Jamei, R., & Heidari, R. (2015). Compositional analysis and antioxidant activity of volatile components of two *Salvia* spp. *Tropical Journal of Pharmaceutical Research*, 14(11), 2009–2013. <https://doi.org/10.4314/tjpr.v14i11.9>
14. Giuliani, C., Ascrizzi, R., Corrà, S., Bini, L. M., Flamini, G., & Fico, G. (2017). Ultrastructural insight into terpene-producing trichomes and essential oil profile in *Salvia greggii* A. Gray. *Flora*, 236, 107–114. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2017.10.004>
15. Giuliani, C., Ascrizzi, R., Tani, C., Bottoni, M., Bini, L. M., Flamini, G., & Fico, G. (2017). *Salvia uliginosa* Benth.: Glandular trichomes as bio-factories of volatiles and essential oil. *Flora*, 233, 12–21. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2017.05.002>
16. Grujić, S. M., Savković, Ž. D., Ristić, M. S., Džamić, A. M., Grbić, M. V. L., Vukojević, J. B., & Marin, P. D. (2020). Glandular trichomes, essential oil composition, anti-*Aspergillus* and antioxidative activities of *Lamium purpureum* L. ethanolic extracts. *Archives of Biological Sciences*, 72(2), 253–263. <https://doi.org/10.2298/ABS200117019G>. EDN: <https://elibrary.ru/QWKCIA>
17. Grujic-Jovanovic, S., & Skaltsa, H. D., Marin, P., & Sokovic, M. (2004). Composition and antibacterial activity of the essential oil of six *Stachys* species from Serbia. *Flavour and Fragrance Journal*, 19(2), 139–144. <https://doi.org/10.1002/ffj.1275>
18. Gul, S., Ahmad, M., Zafar, M., Bahadur, S., Sultana, S., Ashfaq, S., Ullah, F., Kilic, O., Hassan, F., & Siddiq, Z. (2019). Foliar epidermal anatomy of Lamiaceae with special emphasis on their trichomes diversity using scanning electron microscopy. *Microscopy Research and Technique*, 82(3), 206–223. <https://doi.org/10.1002/JEMT.23157>
19. Hayta, S., Dogan, G., Yuce, E., & Bagci, E. (2015). Composition of the essential oil of two *Salvia* taxa (*Salvia sclarea* and *Salvia verticillata* subsp. *verticillata*) from Turkey. *Natural Science Discovery*, 1(3), 62–67. <https://doi.org/10.20863/nsd.23928>
20. Hou, T., Sana, S. S., Li, H., Xing, Y., Nanda, A., Netala, V. R., & Zhang, Z. (2022). Essential oils and their antibacterial, antifungal and antioxidant activity applications: A review. *Food Bioscience*, 47, 101716. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101716>. EDN: <https://elibrary.ru/IAYATM>

21. Kılıç, Ö., Kutlu, M. A., & Özdemir, F. A. (2017). Essential oil composition of *Clinopodium vulgare* L. subsp. *arundanum* (Boiss.) Nyman from Bingöl (Turkey). *International Journal of Secondary Metabolism*, 4(3), 11–15. <https://doi.org/10.21448/ijsm.356245>
22. Krstic, L., Malencic, D., & Anackov, G. (2006). Structural investigations of trichomes and essential oil composition of *Salvia verticillata*. *Botanica Helvetica*, 116, 159–168. <https://doi.org/10.1007/s00035-006-0767-6>. EDN: <https://elibrary.ru/YQVTNQ>
23. Lazarević, J. S., Dorđević, A. S., Kitić, D. V., Zlatković, B. K., & Stojanović, G. S. (2013). Chemical composition and antimicrobial activity of the essential oil of *Stachys officinalis* (L.) Trevis. (Lamiaceae). *Chemical Biodiversity*, 10(7), 1335–1349. <https://doi.org/10.1002/cbdv.201200332>
24. Leclercq, R., Cantón, R., Brown, D. F., Giske, C. G., Heisig, P., MacGowan, A. P., Mouton, J. W., Nordmann, P., Rodloff, A. C., Rossolini, G. M., Soussy, C.-J., Steinbakk, M., Winstanley, T. G., & Kahlmeter, G. (2013). EUCAST expert rules in antimicrobial susceptibility testing. *Clinical Microbiology and Infection*, 19(2), 141–160. <https://doi.org/10.1111/j.1469-0691.2011.03703.x>
25. Mahdavi, M., Jouri, M. H., Mahzooni-Kachapi, S., & Halimi'Jelodar, S. (2015). Study of chemical composition and antibacterial effects of essential oils of *Stachys lavandulifolia* Vahl., *Salvia verticillata* L., and *Tanacetum polycephalum* Schultz-Bip. on some microbial lineages. *International Journal of Pharmacy and Allied Sciences*, 4(3), 197–206.
26. Mahmoud, S. S., Maddock, S., & Adal, A. M. (2021). Isoprenoid metabolism and engineering in glandular trichomes of Lamiaceae. *Frontiers in Plant Science*, 12, 699157. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.699157>. EDN: <https://elibrary.ru/GUBHMY>
27. Matkowski, A., Zielińska, S., Oszmiański, J., & Lamer-Zarawska, E. (2008). Antioxidant activity of extracts from leaves and roots of *Salvia miltiorrhiza* Bunge, *S. przewalskii* Maxim., and *S. verticillata* L. *Bioresource Technology*, 99(16), 7892–7896. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.02.013>
28. Morteza-Semnani, K., Saeedi, M., & Akbarzadeh, M. (2009). The essential oil composition of *Clinopodium vulgare* L. from Iran. *Journal of Essential Oil Research*, 21(1), 31–32. <https://doi.org/10.1080/10412905.2009.9700100>
29. Mukhamedsadykova, A. Z., Kasela, M., Kozhanova, K. K., Sakipova, Z. B., Kukuła-Koch, W., Józefczyk, A., Świątek, Ł., Rajtar, B., Iwan, M., Kołodziej, P., Ludwiczuk, A., Kadyrbayeva, G. M., Kuntubek, G. N., Mamatova, A. S., Bogucka-Kocka, A., & Malm, A. (2024). Anthelmintic and antimi-

- crobial effects of hedge woundwort (*Stachys sylvatica* L.) growing in Southern Kazakhstan. *Frontiers in Pharmacology*, 15, 1386509. <https://doi.org/10.3389/fphar.2024.1386509>. EDN: <https://elibrary.ru/BXZIDY>
30. Nasermoadeli, S., Rowshan, V., Abotalebi, A., Nasermoadeli, L., & Charkhchian, M. M. (2013). Comparison of *Salvia verticillata* essential oil components in wild and cultivated population. *Annals of Biological Research*, 4(5), 252–255.
  31. Opalchenova, G., & Obreshkova, D. (1999). Antibacterial action of extracts of *Clinopodium vulgare* L. curative plant. *Drug Development and Industrial Pharmacy*, 25(3), 323–328. <https://doi.org/10.1081/DDC-100102177>
  32. Pedro, B. C., Benites, J., Ríos, D., Guerrero-Castilla, A., Enríquez, C., Zavalá, Z., Ybañez-Julca, R. O., Quispe-Díaz, I., & Jara-Aguilar, R. (2021). Chemical composition and assessment of antimicrobial, antioxidant and antiproliferative activities of essential oil from *Clinopodium sericeum*, a Peruvian medicinal plant. *Records of Natural Products*, 15(3), 175–186. <https://doi.org/10.25135/RNP.213.20.10.1845>. EDN: <https://elibrary.ru/SCMHRQ>
  33. Petrova, V. P., Burachins'ka, N. S., & Pobirchenko, G. A. (1974). Content of essential oil and polyphenols in some sage species introduced into the Ukrainian forest steppe. *Ukrains'kii Botanichnii Zhurnal*, 31(1), 13–17.
  34. Rezazadeh, S., Pirali-Hamedani, M., Hadjiakhondi, A., Ajani, Y., Yari-gar-Ravesh, M., & Shafiee, A. (2009). Chemical composition of the essential oils of *Stachys atherocalyx* and *S. sylvatica* from Iran. *Chemistry of Natural Compounds*, 45, 742–744. <https://doi.org/10.1007/s10600-009-9417-8>. EDN: <https://elibrary.ru/YAWWKL>
  35. Schelz, Z., Hohmann, J., & Molnár, J. (2010). Recent advances in research of antimicrobial effects of essential oils and plant derived compounds on bacteria. In D. Chattopadhyay (Ed.), *Ethnomedicine: A Source of Complementary Therapeutics* (pp. 179–201). Kerala: Research Signpost. ISBN: 978-81-308-0390-6
  36. Stefanovic, O., Stankovic, M. S., & Comic, L. (2011). In vitro antibacterial efficacy of *Clinopodium vulgare* L. extracts and their synergistic interaction with antibiotics. *Journal of Medicinal Plant Research*, 5(17), 4074–4079. <https://doi.org/10.5897/JMPR.9000735>
  37. Tang, H. M., Jiang, Q., Liu, H. Y., Zhang, F., Liu, Q., Pu, G. B., Li, J., Wang, L. N., & Zhang, Y. Q. (2022). Glandular trichomes of medicinal plants: types, separation and purification, biological activities. *Biologia Plantarum*, 66, 219–227. <https://doi.org/10.32615/bp.2022.027>. EDN: <https://elibrary.ru/CPLPQU>
  38. Tepe, B., Sihoglu-Tepe, A., Daferera, D., Polissiou, M., & Sokmen, A. (2007). Chemical composition and antioxidant activity of the essential oil of *Clinopo-*

- dium vulgare* L. *Food Chemistry*, 103(3), 766–770. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.09.019>
39. Tirillini, B., Pellegrino, R., & Bini, L. M. (2004). Essential oil composition of *Stachys sylvatica* L. from Italy. *Flavour and Fragrance Journal*, 19(4), 330–332. <https://doi.org/10.1002/ffj.1308>
40. Totmaj, L. H., & Salmaki, Y. (2022). Pollen and trichome morphology of tribe Stachydeae (Lamiaceae) and its phylogenetic significance. *Turkish Journal of Botany*, 46(3), 205–229. <https://doi.org/10.55730/1300-008x.2683>. EDN: <https://elibrary.ru/TNZCXI>
41. Vundac, V. B., Pfeifhofer, H. W., Brantner, A. H., Males, Z., & Plazibat, M. (2006). Essential oils of seven *Stachys* taxa from Croatia. *Biochemical Systematics and Ecology*, 34(12), 875–881. <https://doi.org/10.1016/j.bse.2006.04.010>. EDN: <https://elibrary.ru/XTBLLW>
42. Yousefzadi, M., Sonboli, A., Karimi, F., Ebrahimi, S. N., Asghari, B., & Zeinali, A. (2007). Antimicrobial activity of some *Salvia* species essential oils from Iran. *Zeitschrift für Naturforschung C*, 62(7–8), 514–518. <https://doi.org/10.1515/znc-2007-7-809>

### **ВКЛАД АВТОРОВ**

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

### **AUTHOR CONTRIBUTIONS**

The authors contributed equally to this article.

### **ДАнные ОБ АВТОРАХ**

**Алшиха Абдуллатиф**, аспирант

*Казанский (Приволжский) федеральный университет*  
*ул. Кремлевская, 18, г. Казань, 420008, Российская Федерация*  
*abdallatif.sh91@gmail.com*

**Прохоренко Нина Борисовна**, кандидат биологических наук, доцент кафедры физиологии и биохимии растений

*Казанский (Приволжский) федеральный университет*  
*ул. Кремлевская, 18, г. Казань, 420008, Российская Федерация*  
*nbprokhorenko@mail.ru*

**Демина Галина Владимировна**, кандидат биологических наук, доцент кафедры ботаники и физиологии растений

*Казанский (Приволжский) федеральный университет  
ул. Кремлевская, 18, г. Казань, 420008, Российская Федерация  
demnagv@mail.ru*

**Сальников Вадим Владимирович**, доктор биологические науки, профессор, заведующий лабораторией микроскопии  
*Казанский институт биохимии и биофизики КазНЦ РАН  
ул. Лобачевского, 2, г. Казань, 420111, Российская Федерация  
vadim.salnikov.56@mail.ru*

**Немтарев Андрей Владимирович**, кандидат химические науки, доцент кафедры органической и медицинской химии  
*Казанский (Приволжский) федеральный университет  
ул. Кремлевская, 18, г. Казань, 420008, Российская Федерация  
a.nemtarev@mail.ru*

**Каюмов Айрат Рашитович**, доктор биологические науки, доцент, зав. кафедрой генетики  
*Казанский (Приволжский) федеральный университет  
ул. Кремлевская, 18, г. Казань, 420008, Российская Федерация  
kairatr@yandex.ru*

**Тимофеева Ольга Арнольдовна**, доктор биологические науки, зав. кафедрой ботаники и физиологии растений  
*Казанский (Приволжский) федеральный университет  
ул. Кремлевская, 18, г. Казань, 420008, Российская Федерация  
otimofeeva2008@mail.ru*

#### **DATA ABOUT THE AUTHORS**

**Abdullatif Alshikha**, Graduate Student  
*Kazan (Volga Region) Federal University  
18, Kremlevskaya Str., Kazan, 420008, Russian Federation  
abdallatif.sh91@gmail.com  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-6513-2314>  
ResearcherID: MBV-6823-2025  
Scopus Author ID: 58303931200*

**Nina B. Prokhorenko**, Candidate of biological sciences, associate Professor of the Department of Botany and Plant Physiology

*Kazan (Volga Region) Federal University*  
*18, Kremlevskaya Str., Kazan, 420008, Russian Federation*  
*nbprokhorenko@mail.ru*  
*SPIN-code: 9456-4970*  
*ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0661-8461>*  
*ResearcherID: V-9530-2017*  
*Scopus Author ID: 56539778800*

**Galina V. Demina**, Candidate of biological sciences, associate Professor of the Department of Botany and Plant Physiology  
*Kazan (Volga Region) Federal University*  
*18, Kremlevskaya Str., Kazan, 420008, Russian Federation*  
*deminagv@mail.ru*  
*SPIN-code: 3217-1051*  
*ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5836-5614>*  
*ResearcherID: W-1570-2018*  
*Scopus Author ID: 56736981000*

**Vadim V. Salnikov**, Doctor of Biology, Professor, Head of the Microscopy Laboratory  
*Kazan Institute of Biochemistry and Biophysics, Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*  
*2, Lobachevsky Str., Kazan, 420111, Russian Federation*  
*vadim.salnikov.56@mail.ru*  
*SPIN-code: 1952-2735*  
*ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2367-672X>*  
*ResearcherID: A-9563-2018*  
*Scopus Author ID: 6602504414*

**Andrey V. Nemtarev**, Candidate of Chemical Sciences, associate Professor of the Department of Organic and Medical Chemistry  
*Kazan (Volga Region) Federal University*  
*18, Kremlevskaya Str., Kazan, 420008, Russian Federation*  
*a.nemtarev@mail.ru*  
*SPIN-code: 4324-9208*  
*ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8478-2705>*  
*ResearcherID: E-5303-2017*  
*Scopus Author ID: 12797058700*

**Airat R. Kayumov**, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Genetics  
*Kazan (Volga Region) Federal University*  
*18, Kremlevskaya Str., Kazan, 420008, Russian Federation*  
*kairatr@yandex.ru*  
*SPIN-code: 3562-5282*  
*ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7195-1557>*  
*ResearcherID: M-6725-2013*  
*Scopus Author ID: 9133278400*

**Olga A. Timofeeva**, Doctor of Biological Sciences, Head of the Department of Botany and Plant Physiology  
*Kazan (Volga Region) Federal University*  
*18, Kremlevskaya Str., Kazan, 420008, Russian Federation*  
*otimofeeva2008@mail.ru*  
*ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4921-458X>*  
*ResearcherID: M-3506-2016*  
*Scopus Author ID: 57197942213*

Поступила 28.01.2025

После рецензирования 14.04.2025

Принята 20.04.2025

Received 28.01.2025

Revised 14.04.2025

Accepted 20.04.2025