

ОРИГИНАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ



УДК 633.812+581.84

Особенности структуры стебля *Myrtus communis* и его гистохимический анализ

И.В. Булавин* , Д.И. Калмыкова , В.Д. Конобеев ,
Л.А. Логвиненко , О.М. Шевчук

Никитский ботанический сад — Национальный научный центр РАН, Российская академия наук,
Россия, 298648, г. Ялта, пгт Никита, Никитский спуск, д. 52

*e-mail: cellbiolnbs@yandex.ru

Myrtus communis L. (мирт обыкновенный) является одним из важных ароматических и лекарственных растений семейства миртовых (Myrtaceae). В его органах содержатся в достаточном количестве эфирные масла, фенольные кислоты, флавоноиды, танины, антоциановые пигменты и жирные кислоты, что делает растение перспективным объектом для фармацевтической и парфюмерной промышленности. В Российской Федерации *M. communis* введен в культуру как декоративное и эфиромасличное растение на Южном берегу Крыма и на Черноморском побережье Кавказа в XIX в. В условиях Южного берега Крыма у *M. communis* в анатомическом аспекте ранее были исследованы особенности морфологии и структуры листовой пластинки, плодов. Информация о строении стебля остается ограниченной. Поэтому целью данной работы был сравнительный анализ структуры молодых и одревесневших стеблей, а также определение локализации эфирного масла и фенольных соединений в его тканях. Установлено, что молодые и одревесневшие стебли *M. communis* отличаются по цвету и форме, определен потенциал отрастающих осевых органов в накоплении эфирного масла. Впервые показано, что у одревесневших стеблей *M. communis* формируется особый тип феллемы, клетки которой вытянуты в радиальном направлении и имеют тонкие оболочки. Специфика строения перидермы, возможно, обуславливает подмерзание побегов и ограничивает распространение *M. communis* за пределы влажных и сухих субтропиков РФ. Качественные гистохимические исследования выявили во вместилищах молодых и одревесневших стеблей накопление эфирного масла, при этом отмечена суберинизация выстилающих клеток структур внутренней секреции. По мере развития перидермы обнаруживается тенденция к разрушению вместилищ. В тканях стебля обнаруживаются фенольные соединения, часть из которых структурно связана с клеточными стенками, другая — накапливается в протопластах эпидермы, паренхимы, флоэмы, в наибольшем количестве — у молодых (неодревесневших) органов.

Ключевые слова: мирт обыкновенный, осевые органы, анатомия, качественный анализ, эфирное масло, фенолы

DOI: 10.55959/MSU0137-0952-16-80-4-5

Введение

Мировая фармацевтическая, парфюмерная, косметическая и пищевая промышленность испытывает постоянно растущий спрос на натуральные эфирные масла благодаря их составу, который, в отличие от химически синтезированных масел, богат природными ароматическими соединениями, органическими кислотами, фенолами, спиртами, альдегидами и многим другим. Это делает эфирные масла дорогими на мировом рынке и подчеркивает актуальность внедрения и изучения агротехнических приемов выращивания эфиромасличных растений в различных почвенно-климатических зонах [1].

ромасличных растений в различных почвенно-климатических зонах [1].

Myrtus communis L. (мирт обыкновенный) является одним из важных ароматических и лекарственных растений семейства миртовых (Myrtaceae) [2], которое включает примерно 145 родов и более 5500 видов. Этот вечнозеленый склерофитный кустарник или небольшое дерево высотой 1,8–2,4 (3 м) [3] является частью типичной средиземноморской флоры и произрастает в изобилии от северо-западной до восточной части региона, включая соседние страны, а также западную Азию

и Эгейское побережье [4]. Также вид встречается в Южной Европе, Северной Африке, Западной Азии, в Южной Америке, северо-западных Гималаях и Австралии, в северо-западной части Индии [5]. В литературе сообщается, что части растений *Myrtus* sp. содержат в достаточном количестве эфирные масла, фенольные кислоты, флавоноиды, танины, антоциановые пигменты и жирные кислоты [6].

В Российской Федерации *M. communis* введен в культуру как декоративное и эфиромасличное растение еще в 1815 г. на Южном берегу Крыма (ЮБК) в Никитском ботаническом саду и на Черноморском побережье Кавказа с 60-х гг. XIX в. [7].

В условиях ЮБК у *M. communis* исследованы особенности прорастания семян в зависимости от продолжительности хранения [8], морфолого-анатомические характеристики листьев в качестве идентификаторов подлинности перспективного лекарственного растительного сырья [9], анатомия черешков и люминесценция доминирующих биологически активных соединений в их тканях [10], структура плодов [11], накопление эссенциальных элементов (Ca, Mg, K, Fe, Mn, Cu, Zn) в вегетативных (однолетние побеги, листья) и генеративных (плоды) органах растений [12]; эфирное масло и основные его компоненты при порослевой и многолетней культуре возделывания в свежих и воздушно-сухих листьях как источника сырья для фармацевтической и парфюмерно-косметической отрасли [13]; антибактериальная активность водно-спиртовых извлечений из листьев [14].

Информация о структуре стебля остается ограниченной. На сегодня существует малое количество работ, в которых продемонстрировано его строение [15, 16]. Исследование анатомии осевых органов, выявление структур, накапливающих биологически активные вещества, является актуальным с точки зрения фундаментальной науки, а также определения потенциального количества эфирного масла от стеблей и для селекционного отбора на морозостойкость. Поэтому целью данной работы был сравнительный анализ структуры молодых и одревесневших стеблей, а также установление локализации эфирного масла и фенольных соединений в их тканях.

Материалы и методы

Исследования проводили в 2024 г. В качестве объекта выбран мирт обыкновенный (*Myrtus communis* L.), культивируемый на территории Арборетума Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Ордена Трудового Красного Знамени Никитский ботанический сад — Национальный научный центр РАН» (ФГБУН «НБС-ННЦ»), расположенного на высоте 200 м над уровнем моря, в условиях субтропического климата средиземноморского типа. Материал отбирали в период технической зрелости растений (ноябрь).

Значения погодных условий приведены согласно данным ФГБУ «Крымское УГМС» (Агрометеостанция Никитский сад). Температура: средняя — 9,3°C, максимальная — 21,6°C, минимальная — 1,0°C; сумма осадков, мм — 103,3; относительная влажность воздуха, % — 71,3.

Морфологические исследования выполняли на свежем материале. Органы анализировали при помощи стереомикроскопа МСП-1 (Ломо, Россия), оснащенного цифровой камерой E31SPM12000KPA (Korticom, Китай), подключенной к персональному компьютеру с программным обеспечением (ПО) ImageView™ (Carestream, США).

Гистохимический анализ выполняли согласно общепринятым методам на поперечных срезах, изготовленных из свежего материала с использованием замораживающего микротома МЗ-2 (Точмедприбор, Украина), оснащенного охладителем лабораторным ОЛ-ЗСО 30 (Инмедпром, Россия). Лигнин выявляли 0,5%-ным раствором флороглюцина и концентрированной соляной кислотой. Одревесневшие оболочки окрашивались в красно-малиновый цвет [17]. Локализацию суберина определяли 1%-ным раствором генцианового фиолетового и аммиаком после воздействия на срезы жавелевой водой. Структуры, содержащие суберин, окрашивались в фиолетовый цвет [18]. Выявление эфирного масла осуществляли при помощи обработки срезов спиртовым раствором судана III (1%) [19]. Анализ на качественное присутствие фенольных соединений проводили путем последовательной обработки срезов жавелем, дистиллированной водой, 0,5%-ным раствором толуидинового синего в 2,5%-ном Na₂CO₃ при pH 9 в течение 5 мин, 70%-ным этанолом [20]. Локализацию флавоноидов в тканях определяли посредством применения 1%-го раствора ванилина и концентрированной соляной кислоты. Структуры, содержащие указанные соединения, окрашивались в красный цвет [21].

Анатомические исследования проводили на фиксированном материале. Для этого от побегов отделяли фрагменты стеблей и сразу переносили их в пенициллиновые флаконы с раствором формалина (38%), ледяной уксусной кислоты, спирта этилового (96%) и воды (1:0,5:5:3,5). Дополнительно добавляли несколько капель детергента Твин-20. Обезвоживание материала осуществляли в спиртах восходящей концентрации. В качестве промежуточной жидкости использовали толуол (Вектон, Россия). Образцы заключали в парафиновую гомогенизированную среду Гистопoint Экстра (МедТехникаПоинт, Россия). Срезы толщиной 12 и 16 мкм изготавливали на полуавтоматическом ротационном микротоме Ротмик 2А (ОрионМедик, Россия), наклеивали на предметные стекла, предварительно обработанные раствором белка куриного яйца, смешанным с глицерином в соотношении 1:1. Стекла со срезами сушили

при помощи нагревательного столика Микростат-30/80 (Техном, Россия). Депарафинирование осуществляли толуолом в стеклянных емкостях Шиффердекера (2 ч). Затем предметные стекла со срезами переносили в 96%-ный спирт (1,5 ч), дистиллированную воду (30 мин), окрашивали водным раствором метиленового синего (0,05%) (30 мин). Для заключения использовали раствор сахарозы (60%) [22].

Полученные препараты исследовали с помощью микроскопа CX-41 (Olympus, Япония), оснащенного цифровой камерой SC 50 (Olympus, Германия) и ПО CellSens Imaging Software v. 1.17. Материал после окрашивания на фенольные соединения изучали с помощью зеленого светофильтра.

Статистический анализ данных выполняли в ПО Past v. 3.26 [23]. Для каждого варианта (молодые/одревесневшие стебли, листья) было проанализировано по 10 образцов. Выборки проверяли на нормальность распределения и, в зависимости от полученного результата, использовали либо t-критерий, либо U-тест при $p \leq 0,05$. Данные представлены в виде среднего значения и стандартной ошибки среднего значения.

Результаты и обсуждение

Исследована морфология и анатомия молодых (неодревесневших) и одревесневших стеблей *M. communis*. Молодые стебли были практически голые (наблюдали весьма редкие трихомы), светло-

зеленого цвета с малиновым оттенком, по форме — четырехгранные или округлые с небольшими ребрами. Под покровной тканью были различимы секреторные структуры — вместилища (рис. 1А, Б). Отличием одревесневших стеблей было: светло-коричневый цвет, округлая форма и наличие вместилищ с содержимым янтарного цвета (рис. 1В, Г). Проанализировано количество последних на осевых органах и их поперечных срезах сравнительно с таковым у листовых пластинок. У молодых и одревесневших стеблей первый показатель достигал $9,1 \pm 1,03$ и $6,9 \pm 0,84$ шт./мм² соответственно, листовых пластинок — $10,2 \pm 0,84$ шт./мм². На поперечных срезах количество вместилищ для первых двух вариантов органов составляло $8 \pm 1,56$ и $4,6 \pm 0,6$ шт., для третьего — $19 \pm 1,65$ шт. Установлены статистически значимые различия между количеством вместилищ на поперечных срезах молодых и одревесневших стеблей, а также листьев и молодых побегов, которое было меньше в 1,7 и 2,4 раза соответственно.

Изучено анатомическое строение неодревесневших стеблей *M. communis*. Топографически на поперечных срезах выделяли эпидерму, кору и центральный цилиндр. Эпидерма была представлена плотно сомкнутыми овальными (овально-прямоугольными) клетками, внешние тангентальные стенки которых имели кутикулярный слой. В состав коры входили колленхима, паренхима и слабовыраженная эндодерма. В наружных слоях

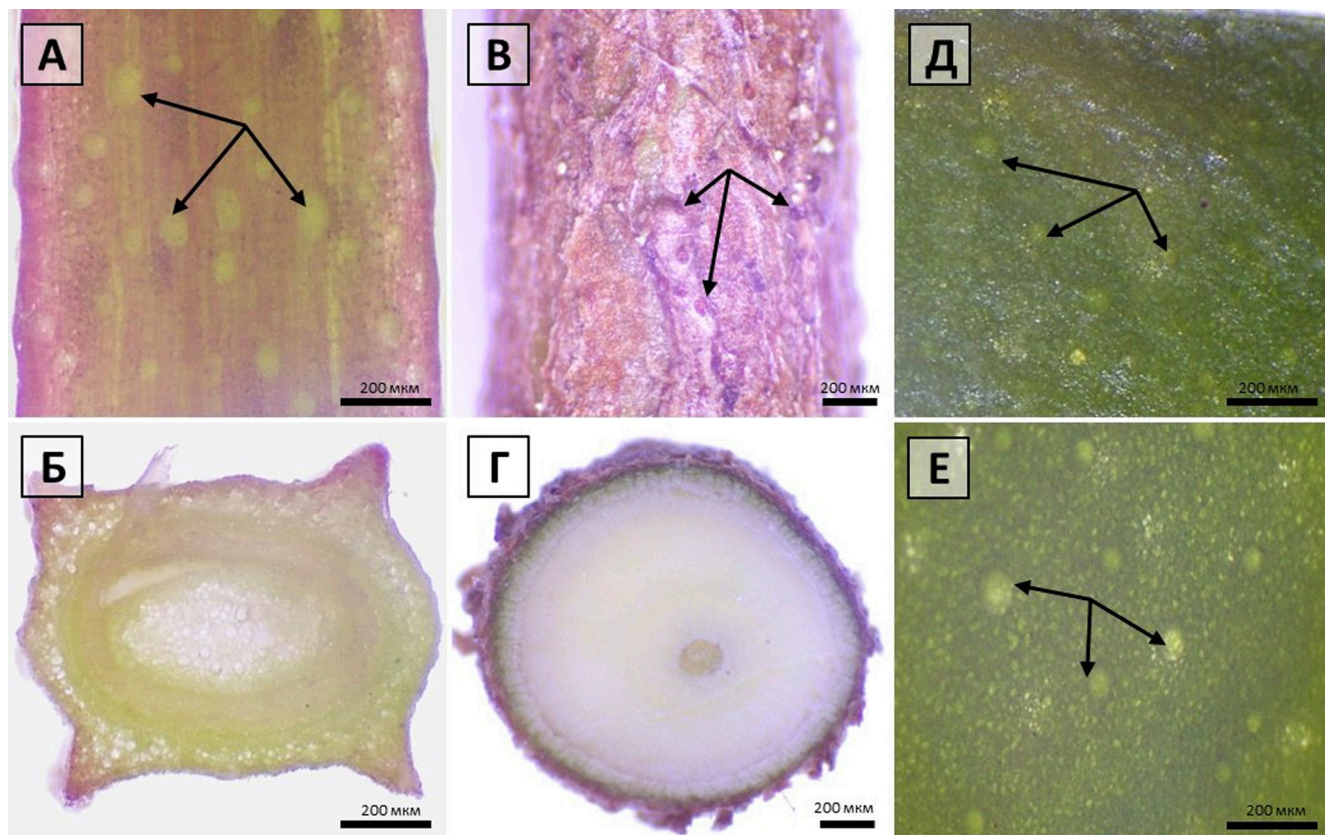


Рис. 1. Морфология молодых (А–Б) и одревесневших (В–Г) стеблей и листьев (Д–Е) *Myrtus communis*. Стрелочками показаны вместилища с эфирным маслом.

кору формировались вместилища. В центральном цилиндре располагались тяжи склеренхимы периферического происхождения (могли отсутствовать), непучковая биколлатеральная проводящая система, паренхима сердцевины (рис. 2А).

В древесном стебле *M. communis* толщиной до 0,5 см (рис. 2Б), выделяли кору, камбий, древеси-

ну и сердцевину. В состав коры входили эпидерма, остатки первичной коры, ткани которой сминались. Под эпидермой дифференцировали либо целые вместилища или их части. Глубже в тканях были четко заметны волокна склеренхимы перичиклического происхождения. Отмечено наличие клеток, вытянутых в радиальном направлении.

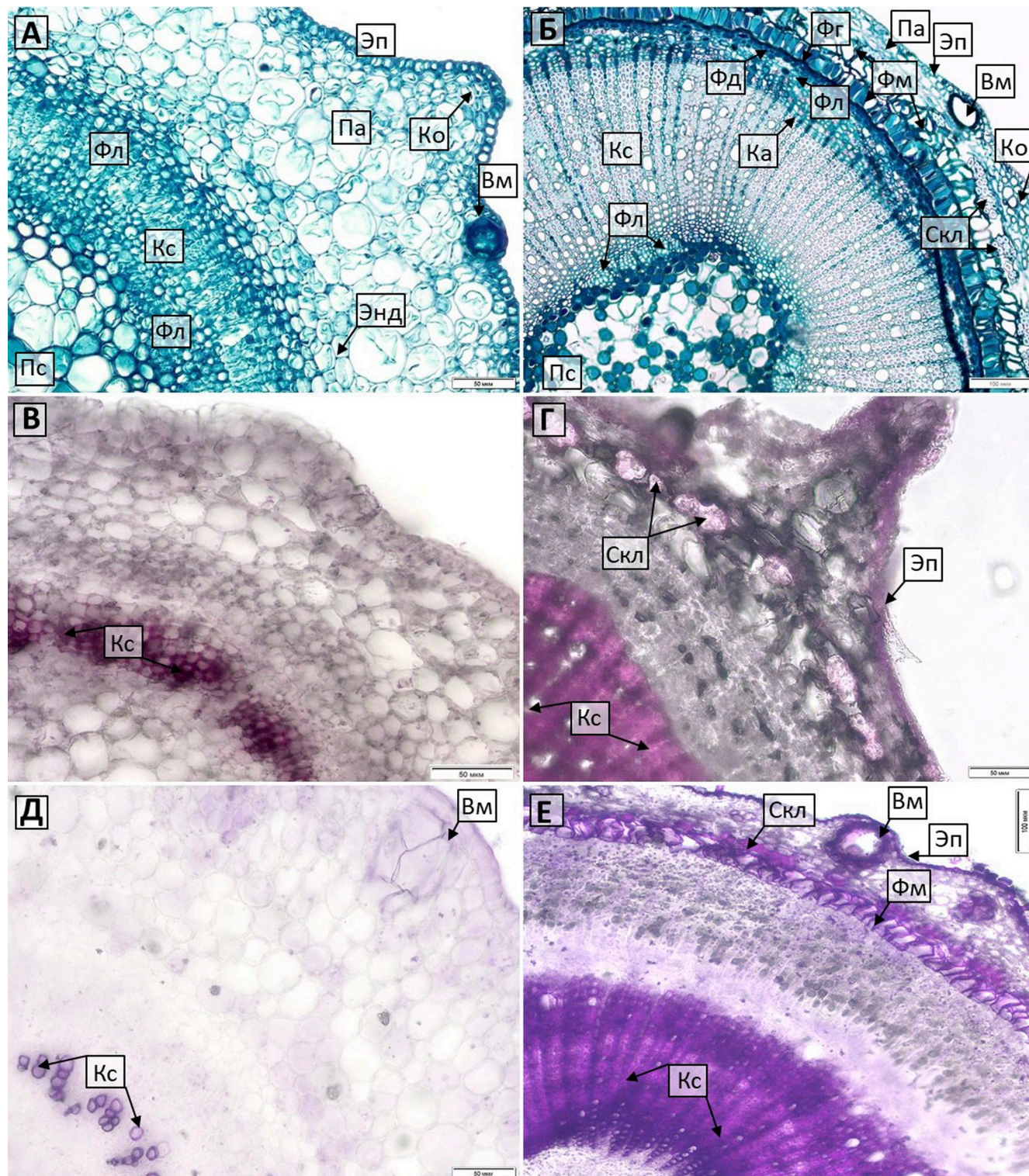


Рис. 2. Поперечные срезы молодых (А, В, Д) и одревесневших (Б, Г, Е) стеблей *Myrtus communis*; А, Б – окрашивание метиленовым синим; В, Г – качественная гистохимическая реакция на лигнин; Д, Е – качественная гистохимическая реакция на суберин. **Вм** – вместилище, **Ка** – камбий, **Ко** – колленхима, **Кс** – ксилема, **Па** – паренхима, **Пс** – паренхима сердцевины, **Скл** – склеренхима, **Фг** – феллоген, **Фд** – феллодерма, **Фл** – флоэма, **Фм** – феллема, **Энд** – эндодерма, **Эп** – эпидерма (световая микроскопия).

Качественный гистохимический анализ на лигнин (рис. 2Г) и суберин (рис. 2Е) выявил в указанных клетках наличие последнего и подтвердил наше предположение о том, что это феллема. Далее располагались феллоген, феллодерма и вторичная кора, представленная флоэмой (первичной, вторичной), за которой находилась камбиальная зона и древесина, составленная вторичными и первичными элементами. В самом центре стели наблюдали паренхиму.

Исследовано накопление эфирного масла (ЭМ) и фенольных соединений в тканях стеблей и листовых пластинок *M. communis*. Согласно полученным результатам, ЭМ наблюдали во местилищах, расположенных в паренхиме анализируемых вегетативных органов (рис. 3Г). Также отмечено окрашивание выстилающих клеток местилищ при использовании спиртового раствора судана III (рис. 3А, Б) и генцианового фиолетового при реакции на суберин (рис. 2Д, Е).

Анализ локализации фенольных соединений показал, что в стеблях изменение цвета происходило в эпидерме, выстилающих клетках местилищ, склеренхиме, феллеме и ксилеме (рис. 3Д, Е). В листе в области центральной жилки окрашивание приобретали эпидерма (внешняя тангентальная часть), ксилема, склеренхима, выстилающие клетки местилищ (рис. 3Ж). В боковой части листовой пластинки (рис. 3З) зеленое

окрашивание наблюдали в эпидермальных клетках, выстилающих клетки местилищ, ксилеме боковых жилок.

Качественные гистохимические реакции на флавоноиды показали их присутствие в эпидерме, клетках первичной коры, выстилающих клетках местилищ, флоэме, паренхиме сердцевинки молодых стеблей (рис. 3И). У одревесневших органов красный оттенок наблюдали в эпидерме и выстилающих клетках местилищ. Наиболее слабое окрашивание выявлено во флоэме и паренхиме сердцевинки (рис. 3К). В листьях интенсивный красный цвет появлялся в эпидерме, флоэме, выстилающих клетках местилищ, слабый — колленхиме центральной жилки, палисаде, некоторых клетках губчатого мезофилла (рис. 3Л, М).

В литературе имеются сведения о морфологии листовой пластинки *M. communis*. При описании ее поверхности отмечается наличие ароматических железок, плотность которых на дорсальной стороне больше и составляет $966,63 \pm 15,212$ шт./см², на вентральной — $736,97 \pm 16,563$ шт./см² [24], а частота встречаемости находится в диапазоне 0–14 шт./мм² [9]. Нами впервые проведено сравнительное исследование количества местилищ на поверхности молодых и одревесневших стеблей и листьев. Показан наибольший потенциал по накоплению ЭМ для листьев и молодых (зеленых) стеблей, что согласуется с данными литературы.

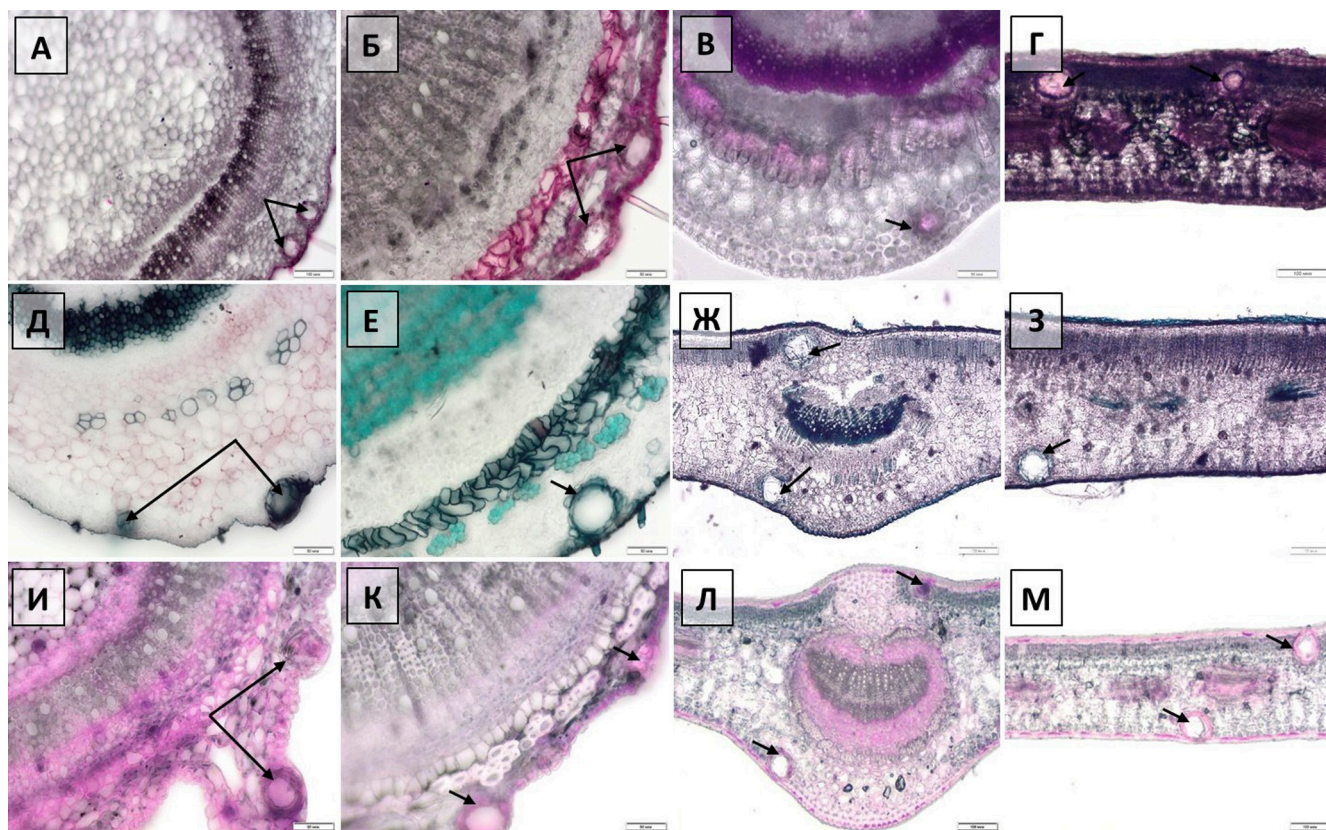


Рис. 3. Поперечные срезы молодых (А, Д, И), одревесневших стеблей (Б, Е, К), а также листьев (В, Г, Ж, З, Л, М) после проведения качественных гистохимических реакций. А–Г — выявление эфирного масла; Д–З — выявление фенолов; И–М — выявление флавоноидов (световая микроскопия). Стрелочками указаны местилища.

В работе Л.А. Логвиненко показано, что при извлечении ЭМ из одревесневших побегов его содержание было весьма незначительным и определены следовые количества [13].

По данным М.А. Аль-Хадиси [15] стебель *M. communis* покрыт однорядной эпидермой с кутикулой, затем располагается многослойная кора, состоящая из колленхимы и паренхимы, хлоренхима отсутствует. Сосудистые пучки биколлатеральные, формируют кольцо. Сердцевина представлена паренхимными клетками. В работе Ю.С. Черятовой указано, что стебель *M. communis* характеризуется непучковым типом строения. В паренхиме коры стебля обнаружены выделительные структуры, представленные сферическими схизолизигенными эфиромасличными вместилищами, полость которых была выстлана эпителиальными клетками и одиночными эфиромасличными клетками [16]. Нами на поперечных срезах отмечены несколько слоев клеток, вытянутых в радиальном направлении. Гистохимические исследования показали накопление в них суберина, что подтвердило их принадлежность к феллеме. Они не опробковывают полностью и формируют одну из феллем, сходную с таковой у *Rhododendron maximum* L. [25]. Перидерма — это сложная ткань, состоящая из феллогена или пробкового камбия — вторичной латеральной меристемы — и двух типов тканей, которые он производит — феллемы (также обычно называемой пробкой) и феллодермы [26]. Во время вторичного роста, за счет увеличения обхвата растительных органов, перидерма заменяет эпидерму как самую внешнюю ткань и выступает в качестве первой линии защиты внутренних структур осевых органов растений от абиотических и биотических воздействий. Таким образом, перидерма может закладываться непосредственно под первичной покровной тканью (гиподермально — часто) или в более глубоких слоях тканей органов (например, вблизи волокон, прилегающих к флоэме) [27, 28]. Многократное заложение феллогена приводит к образованию множественных перидерм, формирующих корку (ритидом). Наиболее характерным свойством феллемы является высокая степень опробкования ее вторичных клеточных стенок, при этом их утолщения могут быть как равномерными, так и неравномерными [25]. Например, у *Quercus suber* L. высота клетки корки 30–40 мкм, а толщина ее оболочки 1–1,5 мкм [29]. Перидерма у *Vaccinium praestans* Lamb. закладывается в первый год нарастания стебля, к третьему — представляет непрерывное многослойное кольцо. Феллема гомогенная, тонкостенная, в радиальном ряду поперечного среза ткани имеются три клетки, тангентальный размер которых составляет $9,9 \pm 0,32$, а радиальный — $6,9 \pm 0,37$ мкм [30]. Нами впервые показано, что у одревесневших побегов *M. communis* феллема закладывается в более глубоких слоях коры и формирует несколько рядов тонкостенных клеток.

Возможно, такое ее строение обуславливает подмерзание мелких побегов растений, что и ограничивает распространение *M. communis* за пределы влажных и сухих субтропиков РФ.

Сырье мирта является ценным источником целого комплекса биологически активных веществ (фенольные кислоты, флавоноиды, ЭМ и др.), с чем связан широкий спектр его терапевтической активности. Вторичные метаболиты мирта обладают антибактериальным, противогрибковым, противовоспалительным, антиоксидантным, противовирусным, антидиабетическим действием, укрепляют иммунную систему [16].

Вместилища с ЭМ (секреторные полости) являются важной особенностью семейства Myrtaceae и изучаются с середины XVIII в. Ранее данные структуры рассматривали лишь как место синтеза и хранения терпеноидов [32]. Нами отмечено, что стенки выстилающих клеток вместилищ стебля при окрашивании спиртовым раствором судана III приобретают розовый оттенок. В анатомической практике судан III также используется для выявления пробки (в составе которой имеется суберин) и кутикулы, а также жиров [17]. Таким образом, стенки выстилающих клеток вместилищ в стебле содержат суберин, что подтверждено нашими дополнительными гистохимическими исследованиями поперечных срезов стеблей. Подобные результаты приведены в работе Х.Ф. Ричит с соавторами для вместилищ листовых пластинок девяти представителей семейства Myrtaceae [32]. По мнению исследователей, суберинизация снижает проницаемость клеточных стенок секреторных структур, обеспечивая изоляцию вторичных метаболитов и предотвращая диффузию секретируемых химических веществ в окружающие ткани [32].

При исследовании локализации фенольных соединений с использованием толуидинового синего окрашивание наблюдали преимущественно в покровных, механических, проводящих и секреторных тканях (стенки выстилающих клеток вместилищ). Стебли исследуемых органов покрыты эпидермой, внешние тангентальные клетки которых формируют кутикулярный слой. С химической точки зрения кутикула состоит из набора соединений с различными физико-химическими свойствами. Этими соединениями могут быть воски, кутин и/или кутан, полисахариды, фенольные соединения и минеральные элементы [33]. Вероятно, наличие в кутикуле фенолов объясняет окрашивание внешней тангентальной части клеток эпидермы. В процессе развития проводящей системы одни из составляющих ее элементов (сосуды) подвергаются лигнификации. Лигнин, в свою очередь, содержит фенольную гидроксильную группу [34], что, возможно, и дает цветную реакцию, характерную для фенольных соединений. Склеренхима состоит из непроводящих клеток,

которые имеют толстую лигнифицированную вторичную клеточную стенку. Феллема стебля является неотъемлемой структурной единицей перидермы (пробкой). С химической точки зрения пробка состоит как из нерастворимых, так и из растворимых компонентов. К нерастворимым компонентам относятся алифатический суберин, ароматический суберин (лигниноподобный), целлюлоза и гемицеллюлозы. Растворимые компоненты в основном состоят из липидов и фенольных соединений. Состав пробки сильно варьирует и может содержать 33–50% алифатического суберина; 13–29% лигниноподобного ароматического суберина; 6–25% полисахаридов; 13–24% экстрактивных веществ и 1–7% золы. Наиболее распространенными экстрактивными веществами обычно являются воски и дубильные вещества [35].

Проведенные нами гистохимические исследования также выявили локализацию флавоноидов. В молодых стеблях данные соединения присутствуют в большей части тканей, за исключением ксилемы. У одревесневших органов накопление флавоноидов снижается, о чем свидетельствует разница в интенсивности окрашивания групп гистологических элементов сравнительно с молодыми стеблями. Для листьев также характерно присутствие флавоноидов. Полученные нами данные находят подтверждение в литературе. С помощью люминесцентной микроскопии показано накопление флавоноидов в паренхиме ксилемы, флоэмы и мезофилле поперечных срезов черешка *M. communis* [10]. В листьях при использовании гистохимических методов анализа накопление флавоноидов отмечено в клетках мезофилла [36] и, согласно биохимическим исследованиям, их общее содержание незначительно превышает таковое в стеблях ($6,56 \pm 0,57$ и $6,11 \pm 0,30$ мг/г в пересчете на катехин) [37]. По сведениям других авторов, содержание флавоноидов в стеблях может быть выше, чем в листьях (5, 17 и 3 мг/г соответ-

ственно) [38]. Тем не менее, в этих работах показано, что наибольшее суммарное количество фенольных соединений характерно для листьев [38].

Заключение

Проведенные нами сравнительные морфологические исследования показали отличия между молодыми и одревесневшими стеблями *M. communis* по цвету и форме. Количественные исследования секреторных структур на поверхности осевых органов подтвердили потенциал неодревесневших стеблей в накоплении ЭМ. Анатомически впервые показано, что у одревесневших стеблей *M. communis* формируется особый тип феллемы, образование которой происходит вследствие заложения феллогена не гиподермально, а в более глубоких слоях коры. Клетки феллемы вытянуты в радиальном направлении, а ее оболочки тонкие. Особое строение перидермы, возможно, обуславливает подмерзание побегов и ограничивает распространение *M. communis* за пределы влажных и сухих субтропиков РФ. Основным местом накопления ЭМ в тканях осевых органов являются вместилища, выстилающие клетки которых суберинизируются, что препятствует выходу вторичных метаболитов в окружающие ткани. По мере развития перидермы наблюдается тенденция к разрушению эндогенных секреторных структур. В тканях стебля обнаруживаются фенольные соединения, при этом часть из них структурно связана с клеточными стенками, а другая — накапливается в протопластах эпидермы, паренхимы, флоэмы, в наибольшем количестве — у молодых (неодревесневших) органов.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУН «НБС-ННЦ» (проект № FNNS-2024-0004). Исследования выполнены без использования животных и без привлечения людей в качестве испытуемых. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Dudchenko V.V., Svydenko L.V., Markovska O.Y. Morphobiological and biochemical characteristics of *Monarda* L. varieties under conditions of the Southern Steppe of Ukraine. *J. Ecol. Eng.* 2020;21(8):99–107. DOI: 10.12911/22998993/127093
2. Snow N., McFadden J., Evans T.M., Salywon A.M., Wojciechowski M.F., Wilson P.G. Morphological and molecular evidence of polyphyly in *Rhodomyrtus* (Myrtaceae: Myrteae). *Syst. Bot.* 2011;36(2):390–404. DOI: 10.1600/036364411X569570
3. Sumbul S., Ahmad M.A., Asif M., Akhtar M. *Myrtus communis* Linn. — A review. *Indian J. Nat. Prod. Resour.* 2011;2(4):395–402.
4. Baytop T. *Türkçe bitki adları sözlüğü*. Ankara: Türk Dil Kurumu Yayınları, 1997; 578 pp.
5. Nadkarni K.M. *Indian materia medica*. 3rd ed. Bombay: Popular Prakashan Pvt. Ltd, 1989; 968 pp.
6. Kanoun K., Belyagoubi-Benhammou N., Ghembaza N., Atik Bekkara F. Comparative studies on antioxidant

activities of extracts from the leaf, stem and berry of *Myrtus communis* L. *Int. Food Res. J.* 2014;21(5):1957–1962.

7. Соколов С.Я. *Деревья и кустарники СССР: Дикорастущие, культивируемые и перспективные для интродукции. Т. 1: Голосеменные*. Москва, Ленинград: Изд-во АН СССР, 1965. 464 с.

8. Логвиненко Л.А. Особенности прорастания семян *Myrtus communis* L. var. *belgica*, полученных в условиях культуры Южного Берега Крыма. *Аграрный вестник Урала*. 2019;(6(185)):15–21. DOI: 10.32417/article_5d47f7f2cc7a67.558517

9. Бакова Е.Ю., Меликов Ф.М., Коновалов Д.А., Бобкова Н.В. Анатомо-морфологическая характеристика листьев мирта обыкновенного, произрастающего в условиях Южного Берега Крыма. *Фармацевтическая химия и фармакогнозия*. 2021;70(2):29–35. DOI: 10.29296/25419218-2021-02-05

10. Маслова В.Д., Державина Е.Р., Куркин В.А., Рыжов В.М. Морфолого-анатомическое исследование листьев мирта обыкновенного (*Myrtus communis* L.). *Аспирантский вестник Поволжья*. 2024;24(2):93–101. DOI: 10.35693/AVP636473
11. Бакова Н.Н., Шевчук О.М., Логвиненко Л.А., Бакова Е.Ю., Суслова А.А. Анатомическое строение и биохимическая характеристика плодов мирта обыкновенного. *Бюллетень ГНБС*. 2022;(145):151–157. DOI: 10.36305/0513-1634-2022-145-151-157
12. Дунаевская Е.В., Логвиненко Л.А. Содержание эссенциальных элементов в сырье *Myrtus communis* L. в основные фазы. *Аграрный вестник Урала*. 2018;(5(172)): 20–26.
13. Логвиненко Л.А. Культура мирт обыкновенный (*Myrtus communis* L.) в условиях Южного Берега Крыма. *Аграрный вестник Урала*. 2017;(9(163)):16–23.
14. Маслова В.Д., Куркин В.А., Рыжов В.М., Лямин А.В., Кондратенко О.В., Бакова Н.Н., Бакова Е.Ю. Антимикробная активность водно-спиртовых извлечений из листьев мирта обыкновенного в отношении штаммов, выделенных от пациентов с муковисцидозом. *Фармация и фармакология*. 2024;12(6):410–419. DOI: 10.19163/2307-9266-2024-12-6-410-419
15. AL-Hadeethi M.A. Anatomical and palynological study of *Myrtus communis* L. *Diyala Journal for Pure Sciences*. 2016;12(4):1–15.
16. Черятова Ю.С. Особенности строения и формирования эфирномасличных вместилищ *Myrtus communis* L. *Разнообразие растительного мира*. 2023;2(17):5–11. DOI: 10.22281/2686-9713-2023-2-5-11
17. Барыкина Р.П., Веселова Т.Д., Девятков А.Г., Джаилова Х.Х., Ильина Г.М., Чубатова Н.В. *Основы микротехнических исследований в ботанике. Справочное руководство*. М.: Изд. каф. высш. растений биол. ф-та Моск. гос. ун-та; 2000. 127 с.
18. Симагина Н.О., Лысякова Н.Ю., Булавин И.В. Аллелопатические аспекты симбиотических взаимоотношений некоторых видов семейства Orchidaceae. *Экосистемы, их оптимизация и охрана*. 2009;(1(20)):50–56.
19. Тамахина А.Я., Локьяева Ж.Р. Гистохимический анализ биологически активных веществ в корневых и корнях *Inula helenium* L., произрастающего на территории Кабардино-Балкарской Республики. *Известия КБГАУ*. 2014;3(5):35–39.
20. Dhakshinamoorthy S., Mariama K., Elsen A., De Waele D. Phenols and lignin are involved in the defence response of banana (*Musa*) plants to *Radopholus similis* infection. *Nematology*. 2014;16(5):565–576. DOI: 10.1163/15685411-00002788
21. Никитина А.С., Логвиненко Л.А., Никитина Н.В., Нигарян С.А. Морфометрическое и гистохимическое исследование травы мелиссы лекарственной из коллекции Никитского ботанического сада. *Фармация и фармакология*. 2018;6(6):504–534 DOI:10.19163/2307-9266-2018-6-6-504-534
22. Солдатов Д.К., Булавин И.В., Калмыкова Д.И., Логвиненко Л.А., Шевчук О.М. Структура листовой пластинки некоторых представителей рода *Echinacea* Moench в условиях интродукции на Южном берегу Крыма. *Биология растений и садоводство: теория, инновации*. 2024;(3(172)):66–78.
23. Hammer Ø., Harper D.A.T., Ryan P.D. Past: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontol. Electron*. 2001;4(1):4–9.
24. Khan S.D., Zaki M.J., Khad A. Leaf architecture, ornamentation and estimation of lamina area in *Myrtus communis* L. (Myrtaceae). *Int. J. Biol. Biotechnol*. 2016;13(4):537–550.
25. Эверт Р.Ф. *Анатомия растений Эзау. Меристемы, клетки и ткани растений: строение, функции и развитие*; пер. с англ. под ред. канд. биол. наук А.В. Степановой. М.: Лаборатория знаний; 2015. 603 с.
26. Serra O., Mähönen A.P., Hetherington A.J., Ragni L. The making of plant armor: The periderm. *Annu. Rev. Plant Biol.* 2022;73:405–432. DOI: 10.1146/annurev-arplant-102720-031405
27. Odell A.E., Vander Kloet S.P., Newell R.E. Stem anatomy of *Vaccinium* section *Cyanococcus* and related taxa. *Can. J. Bot.* 1989;67(8):2328–2334. DOI: 10.1139/b89-298
28. Campilho A., Nieminen K., Ragni L. The development of the periderm: the final frontier between a plant and its environment. *Curr. Opin. Plant Biol.* 2020;53:10–14. DOI: 10.1016/j.pbi.2019.08.008
29. Leite C., Pereira H. Cork-containing barks – A review. *Front. Mater.* 2017;3:63. DOI: 10.3389/fmats.2016.0006
30. Конанина А.В., Еремин В.М. Анатомия коры представителей семейства Ericaceae, произрастающих на Сахалине и Курильских островах. *Бот. журн.* 2012;97(8):77–95.
31. Джелдубаева Э.Р., Ярмолюк Н.С., Чуюн Е.Н., Шевчук О.М., Бакова Н.Н. Анальгетический и противовоспалительный эффекты фармацевтически активных компонентов *Myrtus communis* L. *Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Биология. Химия*. 2023;9(75):36–48.
32. Richit J.F., Díaz S.V.N., Dick L.F.P., Mariath J.E.A. Neither lysigenous nor just oil: Demystifying myrtaceous secretory cavities. *Botany*. 2023;110(11):e16248. DOI: 10.1002/ajb2.16248
33. Fernández V., Guzmán-Delgado P., Graça J., Santos S., Gil L. Cuticle structure in relation to chemical composition: Re-assessing the prevailing model. *Front. Plant Sci.* 2016;7:427. DOI: 10.3389/fpls.2016.00427
34. Mahmood Z., Yameen M., Jahangeer M., Riaz M., Ghaffar A., Javid I. Lignin as natural antioxidant capacity. *Lignin – Trends and Applications*. Ed. M. Poletto. London: InTech; 2018:181–205. DOI: 10.5772/intechopen.73284
35. Pinheiro C., Wienkoop S., de Almeida J.F., Brunetti C., Zarrouk O., Planchon S., Gori A., Tattini M., Ricardo C.P., Renaut J., Teixeira R.T. Phellem cell-wall components are discriminants of cork quality in *Quercus suber*. *Front. Plant Sci.* 2019;10:944. DOI: 10.3389/fpls.2019.00944
36. Kuster V.C., Vale F.H.A. Leaf histochemistry analysis of four medicinal species from Cerrado. *Rev. Bras. Farmacogn.* 2016;26(6):673–678. DOI:10.1016/j.bjp.2016.05.015
37. Kanoun K., Belyagoubi-Benhammou N., Ghembaiza N., Atik Bekkara F. Comparative studies on antioxidant activities of extracts from the leaf, stem and berry of *Myrtus communis* L. *Int. Food Res. J.* 2014;21(5):1957–1962.
38. Aidi Wannes W., Mhamdi B., Sriti J., Ben Jemia M., Ouchikh O., Hamdaoui G., Kchouk M.E., Marzouk B. Antioxidant activities of the essential oils and methanol extracts from myrtle (*Myrtus communis* var. *italica* L.) leaf, stem and flower. *Food Chem. Toxicol.* 2010;48(5):1362–1370. DOI: 10.1016/j.fct.2010.03.002

Поступила в редакцию 01.07.2025

После доработки 20.12.2025

Принята в печать 29.12.2025

RESEARCH ARTICLE

Myrtus communis stem structure peculiarities and histochemical analysis

I.V. Bulavin* , D.I. Kalmykova , V.D. Konobeev , L.A. Logvinenko , O.M. Shevchuk 

Nikita Botanical Gardens – National Scientific Center of the RAS, Russian Academy of Sciences,
Russia, 298648, Yalta, Nikita, Nikitskiy spusk, 52

*e-mail: cellbiolnbs@yandex.ru

Myrtus communis L. (common myrtle) is one of the important aromatic and medicinal plants of the family Myrtaceae. Its organs contain sufficient quantities of essential oils, phenolic acids, flavonoids, tannins, anthocyanin pigments, and fatty acids, which make it a promising object for the pharmaceutical and perfume industries. In the Russian Federation, *M. communis* has been cultivated as an ornamental and essential oil plant on the Southern Coast of Crimea and the Black Sea coast of the Caucasus since the 19th century. In the Southern Coast of Crimea conditions, *M. communis* leaf blade and fruit morpho-anatomical characteristics were investigated. However, data on the stem structure is still limited overall. Therefore, the aim of this work was a comparative analysis of the non-woody (young) and woody stem anatomy, as well as the detection of the localization of essential oil and phenolic compounds in its tissues. It was estimated that the young and woody stems of *M. communis* differed in color and shape and a possible contribution of the axial organs to a whole portion of the essential oil yield was determined. For the first time it was shown that the woody stems of *M. communis* had a special type of phellem cells that were elongated in the radial direction with thin cell walls. The special structure of the secondary dermal tissue may cause freezing of shoots and limit the spread of *M. communis* beyond the humid and dry subtropics of the Russian Federation. Qualitative histochemical studies revealed accumulation of essential oil in the cavities of young and woody stems, with suberization of the endogenous secretory structure sheath layer cells and a tendency for their destruction as the periderm develops. Phenolic compounds are found in stem tissues, some of which are structurally linked to cell walls, while others accumulate in the protoplasts of the epidermis, parenchyma, and phloem, in the greatest quantities in young (non-woody) organs.

Keywords: common myrtle, axial organs, anatomy, qualitative analysis, essential oil, phenols

Funding: This study was performed under the state assignment of the FSFIS “NBG-NSC” FNNS-2024-0004.

Сведения об авторах

Булавин Илья Владимирович — канд. биол. наук, ст. науч. сотр., зав. лабораторией клеточной биологии и анатомии Никитского ботанического сада — Национального научного центра РАН. Тел.: 8-3654-25-05-30; e-mail: cellbiolnbs@yandex.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9929-0946>

Калмыкова Дарья Ивановна — мл. науч. сотр., лаборатория клеточной биологии и анатомии Никитского ботанического сада — Национального научного центра РАН. Тел.: 8-3654-25-05-30; e-mail: krikbas@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-3759-8136>

Конобеев Василий Дмитриевич — мл. науч. сотр., лаборатория биохимии, физиологии и репродуктивной биологии растений Никитского ботанического сада — Национального научного центра РАН. Тел.: 8-3654-25-05-30; e-mail: vasilikonobeev@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-2480-5052>

Логвиненко Лидия Алексеевна — науч. сотр., лаборатория лекарственных и ароматических растений Никитского ботанического сада — Национального научного центра РАН. Тел.: 8-3654-25-05-30; e-mail: logvinenko-1963@list.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0936-1895>

Шевчук Оксана Михайловна — докт. биол. наук, гл. науч. сотр., зам. директора по науке, зав. отделом технических культур и биологически активных веществ Никитского ботанического сада — Национального научного центра РАН. Тел.: 8-3654-25-05-30; e-mail: oksana_shevchuk1970@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3811-3161>