

УДК 581.6; 577.13; 547.918

## ФИТОХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ И АНТИОКСИДАНТНАЯ АКТИВНОСТЬ ЭКСТРАКТОВ РАСТЕНИЙ РОДА *VITEX* L. (LAMIACEAE)

© С.О. Володина<sup>1,2\*</sup>, Е.В. Некрасова<sup>2</sup>, Ву Тхи Лоан<sup>3</sup>, А.Ю. Очагова<sup>2</sup>, О.В. Тонкова<sup>2</sup>, В.В. Володин<sup>1,4</sup>

<sup>1</sup> Институт биологии ФИЦ Коми научный центр УрО РАН,  
ул. Коммунистическая, 28, Сыктывкар, 167000 (Россия),  
e-mail: svetlana20664@yandex.ru

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный химико-фармацевтический  
университет, ул. Профессора Попова, 14а, Санкт-Петербург, 197022  
(Россия)

<sup>3</sup> Институт тропической медицины Российско-Вьетнамского Тропического  
научно-исследовательского и технологического центра, ул. Нгуен Ван  
Хуен, Нгаи До, Кау Зай, Ханой (Вьетнам)

<sup>4</sup> Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет  
им. С.М. Кирова, Институтский пер., 5, Санкт-Петербург, 194021 (Россия)

Проведено сравнительное фитохимическое исследование выборочных видов рода *Vitex* L. (Lamiaceae) из флоры России и Вьетнама: *V. agnus-castus*, *V. canescens*, *V. negundo*, *V. tripinnata*. Наибольшее количество экстрактивных веществ было получено из листьев *V. agnus-castus* при экстракции 60%-ным этанолом. Цветные реакции с реактивами Трим-Хилла и Штала, а также данные тонкослойной хроматографии показали высокое содержание иридоидов в экстрактах листьев *V. agnus-castus* и *V. negundo* и их низкое содержание (или отсутствие) в экстрактах листьев *V. tripinnata* и *V. canescens*. Наибольшее количество полифенолов и флавоноидов содержится в экстракте листьев *V. agnus-castus*. Наименьшее количество полифенолов содержится в листьях *V. canescens*, а флавоноидов – в листьях *V. tripinnata*. Все исследованные образцы витексов характеризуются повышенным содержанием эссенциальных микроэлементов – железа, меди и цинка, а листья *V. tripinnata* – также высоким содержанием кобальта. Установлена высокая антирадикальная активность всех образцов листьев изучаемых видов витексов. Показана связь между содержанием вторичных метаболитов и положением видов на молекулярно-филогенетическом древе рода *Vitex*, которая позволяет разработать хемотаксономический прогноз привлечения видов данного рода с повышенным содержанием биологически активных соединений определенного класса (иридоиды, полифенолы, фитостероиды) для дальнейших фармакологических исследований.

**Ключевые слова:** *Vitex*, лекарственные растения, места произрастания, Россия, Вьетнам, вторичные метаболиты, иридоиды, полифенолы, флавоноиды, микроэлементы, молекулярно-филогенетический анализ, хемотаксономия.

Исследования выполнены по теме НИР Института биологии ФИЦ «Коми научный центр УрО РАН» – «Научно обоснованные биотехнологии для улучшения экологической обстановки и здоровья человека на Севере» № 1021051101411-4-1.6.23 и в рамках Договоров творческого сотрудничества с Российско-Вьетнамским научно-исследовательским и технологическим тропическим центром (Хайной, Вьетнам) и Санкт-Петербургским государственным химико-фармацевтическим университетом.

### Введение

*Vitex* L. (витекс, прутняк) – род листопадных или вечнозеленых деревьев и кустарников, включающий в себя приблизительно 270 видов. Входит в семейство Lamiaceae (яснотковые). Родиной растений является Средиземноморье. Большинство представителей рода произрастают по всему миру в тропическом и субтропическом климате, и лишь ограниченное число видов встречаются в умеренном климате. В России

Володина Светлана Олеговна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории биохимии и биотехнологии, доцент кафедры биотехнологии, e-mail: svetlana20664@yandex.ru

Окончание на С. 172.

диземноморье. Большинство представителей рода произрастают по всему миру в тропическом и субтропическом климате, и лишь ограниченное число видов встречаются в умеренном климате. В России

\* Автор, с которым следует вести переписку.

на Черноморском побережье Кавказа и в Крыму встречается единственный вид *Vitex agnus-castus* L. [1].

Интересной особенностью рода *Vitex* является тот факт, что многие его представители издавна применяются в традиционной медицине многих народов мира. Тривиальное название рода «Целомудренное дерево» или по-английски «Chastetree», хотя и связано с известным в медицине с античных времен видом *Vitex agnus-castus*, называемого также целомудренной ягодой (chasteberry), часто применяется и к другим видам этого рода. Например, вид *V. negundo* известен под названием китайское целомудренное дерево или пятилистное целомудренное дерево (chinese chaste tree, five-leaved chaste tree), *V. rotundifolia* – круглолистное целомудренное дерево (round-leaf chaste tree), *V. trifolia* – простолистное целомудренное дерево (simpleleaf chastetree). Это общее название отражает сходство применения перечисленных видов рода *Vitex* для лечения гинекологических заболеваний. В современной европейской медицине препараты на основе *V. agnus-castus* применяются при нарушениях менструального цикла, аменорее, дисменорее [2]. Экстракт *V. negundo* используется в традиционной фитотерапии для репродуктивного здоровья женщин в Малайзии [3]. Для лечения женских болезней на островах Кука используется *V. trifolia* [4]. Использование препаратов на основе *V. rotundifolia* аналогично использованию *V. agnus-castus* [5]. Результаты современных фитохимических и фармакологических исследований показали, что экстракты плодов *V. agnus-castus* содержат бициклические дитерпены, которые, обладая высоким сродством к D<sub>2</sub> допаминовым рецепторам, ингибируют высвобождение пролактина, гиперпродукция которого в организме является причиной многих нарушений репродуктивной сферы и у женщин, и у мужчин [6].

Следует отметить, что благодаря противовоспалительному действию *V. negundo* (местное название «лагунди»), на Филиппинах одобрили клинические испытания средства на его основе для дополнительного лечения пациентов с COVID-19 [7].

Экстракты растений рода *Vitex* обладают широким спектром и других полезных свойств: обезболивающим, противомаларийным, мочегонным, отхаркивающим, ранозаживляющим и другими, за счет присутствия в растениях изучаемого рода биологически активных веществ различной природы: эфирных масел, иридоидов, ди- и тритерпеноидов, экистероидов, полифенолов [8, 9].

Учитывая тот факт, что причиной многих патофизиологических нарушений и социально значимых стресс-индуцированных заболеваний является оксидативный стресс, цель настоящей работы заключалась в изучении состава и содержания вторичных метаболитов, предотвращающих его развитие: иридоидов, полифенолов, флавоноидов, а также оценить содержание эссенциальных микроэлементов и определить антирадикальную активность экстрактов выборочных видов рода *Vitex*, произрастающих на территории России и Вьетнама.

### Материалы и методы

Объектами наших исследований являлись дикорастущие и культивируемые деревья рода *Vitex* L. Образцы листьев, одревесневших побегов и плодов витекса священного (*V. agnus-castus*) собирали с деревьев, культивируемых в горной местности Адлеровского района г. Сочи (Россия). Образцы листьев, одревесневших побегов и коры дикорастущих деревьев *V. tripinnata*, *V. canescens* и *V. negundo* собирали в национальных парках Кон Ка Кинь и Кат Тьен во Вьетнаме. Растительный материал фиксировали путем высушивания в бумажных пакетах при температуре 60 °С.

Содержание суммы экстрактивных веществ в этанольных экстрактах листьев растений рода *Vitex* определяли по методике ОФС.1.5.3.0006.15 «Определение содержания экстрактивных веществ в лекарственном растительном сырье и лекарственных растительных препаратах (метод 1)» [10].

---

Некрасова Елена Владимировна – старший преподаватель кафедры биотехнологии, e-mail: elena.nekrasova@pharminnotech.com  
Ву Тхи Лоан – кандидат биологических наук, научный сотрудник, e-mail: svetlana20664@yandex.ru  
Очагова Александра Юрьевна – магистрант, e-mail: svetlana20664@yandex.ru  
Топкова Оксана Владимировна – кандидат биологических наук, доцент кафедры биотехнологии, e-mail: oxana.topkova@pharminnotech.com  
Володин Владимир Витальевич – доктор биологических наук, профессор кафедры лесохимических продуктов, химии древесины и биотехнологии, e-mail: vladimir131035@yandex.ru

Обнаружение иридоидов в водно-спиртовых экстрактах растений рода *Vitex* проводили с помощью реактивов Трим-Хилла и реактива Шталя [11] и методом тонкослойной хроматографии (ТСХ). Перед проведением ТСХ сырье экстрагировали хлороформом для удаления пигментов. Использовали пластинки Sorbfil ПТСХ-II-A-УФ. Анализ проводили в различных системах элюирования: *n*-бутанол – этанол – вода (4 : 1 : 5) (система I), эта-

нол – хлороформ (1 : 1) (система II), этанол – этилацетит (1 : 1) (система III). В качестве проявляющих реагентов использовали реактив Трим-Хилла (1), 2 н раствор серной кислоты (2), 1 н раствор соляной кислоты (3). Перед проявлением пластинки высушивали на воздухе, а после обработки проявляющими реагентами пластинки нагревали в сушильном шкафу при температуре 110 °С в течение 15 мин [12, 13].

Определение суммы полифенолов в пересчете на галловую кислоту проводили по методике с реактивом Фолина-Чокальтеу в щелочной среде [14]. Оптическую плотность растворов определяли на спектрофотометре СФ-2000 при длине волны 765 нм по отношению к контрольному раствору. В качестве стандарта использовали галловую кислоту.

Сумму флавоноидов в пересчете на кверцетин определяли с помощью метода, основанного на определении оптической плотности растворов комплексов, образующихся при взаимодействии флавоноидов с хлоридом алюминия, в интервале длин вол 408–420 нм [15].

Определение микроэлементов проводили с помощью метода атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой в специализированной аккредитованной эко-аналитической лаборатории Института биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (Сыктывкар).

Антирадикальную активность водно-спиртовых экстрактов витексов оценивали с помощью метода, основанного на реакции 2,2-дифенил-1-пикрилгидразила (DPPH), растворенного в этаноле, с исследуемым образцом, содержащим антиокислитель. Регистрация изменения оптической плотности вводится на спектрофотометре СФ-2000 (Россия) при длине волны 517 нм [16].

Все эксперименты проводились в трехкратном повторении. Статистическая обработка результатов осуществлялась с помощью программы Statistica 10.

### **Результаты и их обсуждение**

Основным признаком доброкачественности экстрактов лекарственных растений является требуемое для галеновых препаратов содержание суммы экстрактивных веществ. В последние годы в фармакогнозии стали широко применяться такие современные физико-химические методы анализа, как газовая и жидкостная хроматография, сопряженные с масс-спектроскопией, ядерный магнитный резонанс и другие методы, которые позволяют точно определять тонкую структуру вторичных метаболитов растений. Однако качество жидких экстрактов до сих пор традиционно оценивают по сумме экстрактивных веществ, которую определяют в соответствии с методикой [10].

Нами определен выход экстрактивных веществ из сырья листьев четырех видов растений рода *Vitex* (*V. agnus-castus*, *V. negundo*, *V. canescens*, *V. tripinnata*) при использовании в качестве экстрагента смеси этанол-вода при различном содержании этанола: 40, 60, 70 и 96%. Выход экстрактивных веществ оказался наибольшим при использовании экстрагента этанол-вода при содержании этанола 60% для образцов листьев всех четырех исследованных видов. При этом наибольшее количество экстрактивных веществ было извлечено из листьев *V. agnus-castus* (640.8 мг/г сухой массы). Далее в порядке убывания располагаются *V. negundo*, *V. canescens* и *V. tripinnata* (соответственно, 464.1, 384.6 и 198.0 мг/г).

Иридоиды относятся к монотерпеноидам циклопентанопиранового типа, которые встречаются и в растительном, и в животном мире. В растениях иридоиды, как правило, встречаются в виде гликозидов. Будучи не столь широко распространенными вторичными метаболитами растений, они обнаружены в таких семействах как Valerianaceae, Menyanthaceae, Gentianaceae, Lamiaceae, Plantaginaceae. Иридоиды обладают резко выраженным горьким вкусом, поэтому растения, их содержащие, применяют для повышения аппетита и улучшения пищеварения. Кроме этого, выявлен широкий спектр и других фармакологических свойств: нейропротекторное, противоопухолевое, противовоспалительное и иммуномодулирующее, гепатопротекторное, гиполипидемическое и гипогликемическое, ранозаживляющее и антимикробное [17].

Для определения иридоидов в растительном сырье используют цветные реакции с использованием реактивов Трим-Хилла (раствор сульфата меди в концентрированной соляной кислот и ледяной уксусной кислоты в определенном соотношении) и Штала (раствор *n*-диметиламинобензальдегид и концентрированной соляной кислоты в этаноле), а также методы бумажной и тонкослойной хроматографии (ТСХ). Методы количественного определения иридоидов в лекарственном сырье пока еще изучены недостаточно. Наиболее перспективными методами определения иридоидов в растительном сырье следует считать современные физико-химические методы ВЭЖХ и ВЭЖХ-МС [17]. В литературе имеются данные о наличии иридоидов в роде *Vitex* [18]. Показано, что глюкозиды иридоидов, выделенные из этилацетатных экстрактов листьев *V. altissima*, показали высокую антиоксидантную активность как с помощью фоторедукции

рибофлавина супероксидным нитросиним тетразолием (NBT), так и с помощью метода гашения свободных радикалов дифенилпикрилгидразилом (DPPH) [9].

Нами было показано, что экстракты листьев изученных видов рода *Vitex* с реактивом Трим-Хилла при комнатной температуре имеют желто-зеленую окраску. Известно, что при нагревании на водяной бане в течение минуты при наличии иридоидов в экстрактах должно происходить изменение окраски. Экстракт листьев *V. agnus-castus* с реактивом Трим-Хилла при нагревании приобрел изумрудную (сине-зеленую) окраску, что на качественном уровне свидетельствует о высоком содержании в нем иридоидов. Наличие иридоидов в экстракте листьев *V. negundo* также подтверждается изменением окраски раствора с зелено-коричневой на темно-синюю. При нагревании экстракта листьев *V. tripinnata*, изначально имеющего ярко-зеленую окраску, с реактивом Трим-Хилла происходило потемнение раствора, цвет стал коричневым, однако изменения окраски на характерную для иридоидов (синяя, зеленая) не произошло. Экстракт листьев *V. canescens*, как и экстракт листьев *V. tripinnata*, не содержит или содержит незначительное количество иридоидов, так как окраска раствора после нагревания с реактивом Трим-Хилла не изменилась.

Полученные результаты согласуются с результатами другой цветной реакции на наличие иридоидов в исследуемых экстрактах с использованием реактива Шталя. Положительной реакцией с реактивом Шталя считается изменение окраски раствора на синюю или голубую. Экстракты листьев *V. agnus-castus* и *V. negundo* после нагревания с реактивом Шталя, так же как и с реактивом Трим-Хилла, изменили окраску соответственно на темно-синий и синий. При нагревании с реактивом Шталя происходит изменение окраски экстрактов листьев *V. tripinnata* и *V. canescens* с ярко-зеленой на коричневую, что свидетельствует об отсутствии либо о незначительном содержании иридоидов в листьях данных видов.

Методом ТСХ проведен качественный анализ иридоидов в спиртовых экстрактах различных частей растений четырех видов рода *Vitex*: *V. agnus-castus* (листья), *V. tripinnata* (листья, кора), *V. negundo* (листья и одревесневшие побеги), *V. canescens* (листья и кора), в различных системах элюирования.

При проведении анализа ТСХ в трех системах элюирования обработка пластинок реагентами **1** и **3** позволяет обнаружить по одному мажорному соединению (*I*) – яркому пятну с характерным для иридоидов зеленоватым (реагент **1**) или голубым (реагент **3**) цветом в экстрактах листьев *V. agnus-castus* (образец 1) и листьев *V. negundo* (образец 8). В экстракте одревесневших побегов *V. negundo* (образец 9) с помощью реагента **3** обнаруживается дополнительное пятно (соединение 2) с характерным для иридоидов голубым цветом в системах I и II. Проявление пластинок с помощью реагента **2** позволяет увидеть, кроме соединения *I*, большее число метаболитов с меньшей интенсивностью окраски во всех трех системах. Наиболее оптимальное разделение метаболитов происходит в системе II (таблица 1). Следует отметить отсутствие иридоидов или их незначительное количество (соединение 3) в листьях *V. tripinnata* (образцы 2 и 6). Кора этого же вида содержит незначительное количество соединения 4 с близким для соединения 3 значением  $R_f$  (таблица 2). Соединение 4 обнаруживается и в коре другого вида – *V. canescence*. Однако, в отличие от образца коры *V. tripinnata* в коре *V. canescence* содержится еще один метаболит иридоидной природы (соединение 5). Соединение *I*, являющееся мажорным компонентом в образцах 1, 8 и 9, обнаруживается как минорный компонент на хроматограммах экстрактов коры и листьев *V. canescence* (образцы 3 и 4) и коры *V. tripinnata* (образец 7).

Таким образом, соединение *I*, обнаруженное во всех исследованных видах, можно считать хемотаксономическим маркером рода *Vitex*. Отсутствие в образце двух иридоидов можно объяснить их низкой концентрацией за пределами чувствительности используемого метода. Структуры характеристического иридоида и минорных соединений иридоидной природы планируется установить в будущих исследованиях. Таким образом, использование цветных реакций и ТСХ показало, что наиболее богатыми иридоидами оказались виды *V. agnus-castus* и *V. negundo*, причем в больших концентрациях они содержатся в листьях и одревесневших побегах деревьев.

Полифенолы принадлежат к одной из важнейших групп вторичных метаболитов, широко распространенных в различных фруктах, овощах и получаемых из них соках и пище. К настоящему времени из растений было выделено более 8 тысяч соединений полифенольной природы [19]. Термин «фенолы» относится к соединениям с одним ароматическим кольцом, соединенным с одной гидроксильной группой, в то время как полифенолы имеют в составе молекулы одно и более ароматических колец с более, чем одной гидроксильной группой. Полифенолы делятся на несколько подгрупп: фенолкислоты, флавоноиды и соединения нефлавоноидной структуры. Флавоноиды, на долю которых приходится около 60% всех полифенолов, имеют в молекуле два бензольных кольца, соединенных между собой трехуглеродной цепоч-

кой [20, 21]. В свою очередь флавоноиды разделяются на 6 подклассов: флавоны, флаванолы, флавонолы, флавононы, изофлавоны и процианидины.

Считается, что полифенолы вносят основной вклад в общую антиокислительную активность экстрактов растений. Как и другие фенольные соединения, в ходе окислительных процессов полифенолы образуют преимущественно феноксильные радикалы, обладающие меньшей реакционной активностью. Таким образом, полифенолы способны прерывать цепной механизм окисления, выступая в качестве ловушек свободных радикалов.

Полифенолы встречаются практически во всех семействах цветковых растений, однако их количественное содержание значительно варьирует у представителей различных семейств, а также зависит от фазы развития растений и условий внешней среды [22, 23]. В сырой биомассе фруктов их содержание достигает до 0.2–0.3%. Полифенолы могут составлять до 50–60% от массы суммы экстрактивных веществ [24]. При биохимическом исследовании лекарственных растений Калининградской области, было установлено, что максимальное содержание полифенолов содержится в листьях синюхи голубой *Polemonium coeruleum*, герани кровавокрасной *Geranium sanguineum*, мяты перечной *Mentha officinalis*, чернокорня лекарственного *Cynoglossum officinale*, шалфея клейкого *Salvia glutinosa*, шлемника байкальского *Scutellaria baicalensis*, ревеня дланевидного *Rheum palmatum*, шалфея лекарственного *Salvia officinalis*. Суммарное содержание полифенолов в этих растениях составило 47.7–166.3 мг/г сухой биомассы. Примечательно, что среди группы растений из 8 видов с наибольшим содержанием полифенолов 4 вида относились к семейству Lamiaceae [25].

Представляло интерес определить содержание суммы полифенолов в листьях четырех изучаемых видов рода *Vitex*, также относящемуся к семейству Lamiaceae. Содержание полифенолов определяли в экстрактах, в которых в качестве экстрагента использовали смесь этанол-вода с содержанием этанола 40, 50, 60 и 70%. Как следует из полученных данных, наибольший выход полифенолов достигается при использовании 60%-ного этанола для всех четырех видов сырья. По сравнению с другими видами витексов наибольшее количество полифенолов содержится в экстракте листьев *V. agnus-castus* (350.0 мг/г сухой биомассы). Содержание полифенолов в образце листьев витекса священного намного превышает содержание полифенолов в плодах черноплодной рябины (~240 мг/г сухого вещества) [26] и приблизительно такое же, как и в зеленом чае (200–350 мг/г) [27]. Наименьшее количество полифенолов содержится в листьях *V. canescens* (115.3 мг/г) (рис. 1).

Таблица 1. Результаты анализа образцов *Vitex* на наличие иридоидов с помощью ТСХ в системе этанол-хлороформ (1 : 1)

№ образца	Вид	Части растения	Соединения на ТСХ-пластинках с использованием различных проявляющих реагентов		
			1*	2*	3*
1	<i>V. agnus-castus</i>	листья	1 – яркое зеленое пятно	1 – яркое 2 – яркое 3 – яркое 4 – яркое	1 – яркое голубое пятно
2	<i>V. tripinnata</i>	листья	–	–	–
3	<i>V. canescens</i>	кора	–	1 – слабое 4 – слабое 5 – слабое	–
4	<i>V. canescens</i>	листья	–	1 – слабое	–
5	<i>V. negundo</i>	одревесневшие побеги	–	1 – слабое 4 – слабое	–
6	<i>V. tripinnata</i>	листья	–	1 – слабое 3 – слабое	–
7	<i>V. tripinnata</i>	кора	–	1 – слабое 2 – слабое 4 – слабое	–
8	<i>V. negundo</i>	листья	1 – яркое зеленое пятно	1 – яркое 2 – слабое 3 – яркое 4 – слабое	–
9	<i>V. negundo</i>	одревесневшие побеги	1 – яркое зеленое пятно	1 – яркое 2 – слабое	1 – яркое голубое пятно 2 – слабое голубое пятно

Примечание: \* – 1 – реактив Трим-Хилла; реагент 2 – 2 н раствор серной кислоты; 3 – 1 н раствор соляной кислоты.

Таблица 2. Значения коэффициентов замедления  $R_f$  соединений иридоидной природы по данным ТСХ в системе этанол-хлороформ (1:1) с использованием различных проявляющих реагентов

№ соединения	1	2	3	4	5
Значение $R_f$	0.82	0.75	0.62	0.50	0.16

Известно, что растения рода *Vitex* содержат большое количество флавоноидов различного строения, большая доля которых представлена флавонолами и флавонами, имеющими в молекуле гидроксильные группы в положении 3 и/или 5. Среди них обнаружены кверцетин, кемпферол, кастицин, апигенин, лапигенин, лютеолин, витексин и другие. Этот факт был учтен нами при выборе спектрофотометрической методики определения суммы флавоноидов в изучаемых видах путем определения оптической плотности растворов комплексов, образующихся при взаимодействии указанной группы флавоноидов с хлоридом алюминия. Суммарное содержание флавоноидов представлено на рисунке 2.

Содержание флавоноидов определяли в спиртовых экстрактах с содержанием этанола 40, 50, 60 и 70%. Из полученных данных следует, что наиболее максимальное извлечение флавоноидов происходит в экстрагенте с содержанием этанола 60%. Наибольший выход флавоноидов в экстракт указанного состава достигается в образце листьев *V. agnus-castus* (3.7% от сухой биомассы). Наименьшее количество флавоноидов содержится в листьях *V. tripinnata* (0.72%).

Известно, что микроэлементы наряду с биологически активными веществами органической природы отвечают за физиологическую активность лекарственных растений. Исходя из известных фармакологических свойств галеновых препаратов на основе растений рода *Vitex* (наиболее изучен вид *V. agnus-castus*) благотворно влияют на репродуктивную сферу женского и мужского организма, усиливать иммунитет, улучшать состояние сердечно-сосудистой системы, регулировать углеводный и липидный обмен, большой интерес представляет определение содержания в растительном сырье растений рода *Vitex* таких эссенциальных элементов, как Mg (макроэлемент), и микроэлементы Fe, Cu, Zn, Mn и Co.

Данные анализа эссенциальных макро- и микроэлементов в листьях четырех исследованных видов рода *Vitex* представлены в таблице 3. Интерес представляет сравнение полученных данных о содержании эссенциальных микроэлементов, которые мы определили в плодах и биомассе *V. agnus-castus*, произрастающего в России на Черноморском побережье Кавказа, с имеющимися в литературе данными о содержании микроэлементов в образцах плодов этого же вида, произрастающего в Турции. Следует отметить, что содержание железа, меди, цинка и кобальта в образце турецкого происхождения составляет соответственно 93.7, 3.0, 7.0 и 0.26 мкг/г сухой биомассы, что существенно ниже, чем содержание упомянутых микроэлементов в образце плодов витекса священного, собранного в России на Черноморском побережье Кавказа.

Следует отметить, что все образцы исследованных нами витексов различных видов характеризуются повышенным содержанием железа, меди и цинка, а листья *V. tripinnata* – высоким содержанием кобальта. Необычно высокое содержание марганца в исследованных нами образцах можно объяснить особенностями состава почв, при этом порог токсичности по содержанию марганца в данных образцах не достигается. Высокое содержание магния во всех исследованных образцах свидетельствует о его позитивном вкладе в улучшение состояния сердечно-сосудистой системы при приеме галеновых препаратов на основе фармакопейных видов витексов. Полученные данные свидетельствуют о перспективности дальнейшего изучения микроэлементного состава растений рода *Vitex* при разработке галеновых и новогаленовых препаратов на их основе.

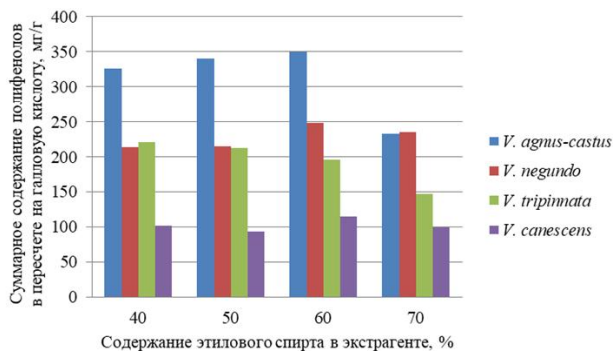


Рис. 1. Содержание полифенолов в спиртовых экстрактах растений рода *Vitex*

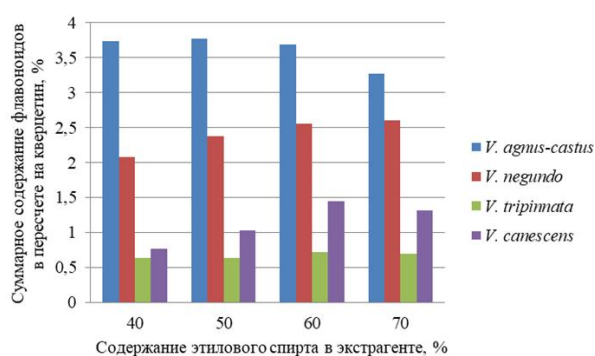


Рис. 2. Суммарное содержание флавоноидов в водно-спиртовых экстрактах растений рода *Vitex*

Таблица 3. Содержание микроэлементов в образцах растений рода *Vitex*

Наименование пробы	Cu, мг/кг	Co, мг/кг	Zn, мг/кг	Mn, мг/кг	Fe, мг/кг	Mg, мг/кг
<i>V. canescens</i> биомасса листьев	11.1±2.2	0.29±0.11	71±14	4900±1500	140±40	4900±1500
<i>V. agnus-castus</i> биомасса листьев	5.3±1.1	1.2±0.5	150±30	1700±500	140±40	1700±500
<i>V. tripinnata</i> биомасса коры	5.6±1.1	<0.1	48±10	1700±500	79±22	1700±500
<i>V. canescens</i> биомасса коры	4.0±0.8	0.27±0.11	36±7	2700±800	570±160	2700±800
<i>V. tripinnata</i> биомасса листьев	6.0±1.2	7.2±2.9	31±6	3100±900	110±30	3100±900
<i>V. negundo</i> биомасса листьев	16.0±3.0	1.2±0.5	49±10	2600±800	170±50	2600±800
<i>V. agnus-castus</i> биомасса семян	10.0±2.0	1.2±0.5	88±18	2400±700	180±50	2400±700

Свободно-радикальное окисление наряду с тканевым дыханием, анаэробным и микросомальным окислением является одним из составляющих всех процессов окисления в организме, объединяемых термином биологическое окисление. Известно, что в процессе тканевого дыхания, основного способа получения энергии в митохондриях в форме молекул АТФ, небольшая часть кислорода превращается в активные формы, или свободные радикалы (СР) (гидроксил радикал HO·, супероксид радикал O<sup>·-</sup>, перекись водорода H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> и другие), которые, обладая высокой химической активностью, вызывают в организме реакции свободно-радикального окисления. Установлено, что СР принимают участие в биосинтезе простагландинов и нуклеиновых кислот. Окисляя чужеродные мембранные белки и липиды патогенных микроорганизмов, СР выполняют защитную функцию. Однако в условиях внешних повреждающих факторов, например, ионизирующего излучения и УФ-облучения, а также таких внутренних факторов, как высокие физические и психические нагрузки, хронический стресс, происходит избыточное образование СР, которые, разрушая мембраны клеток и ДНК в организме человека, приводят к развитию окислительного стресса и возникновению заболеваний, таких как атеросклероз, ишемическая болезнь сердца, катаракта, нейродегенеративные заболевания, сахарный диабет и другие. Образованию избыточного количества СР в организме препятствует антиоксидантная защитная система: ферменты супероксиддисмутаза, каталаза, глутатионпероксидаза, а также витамины А, С и Е. В условиях окислительного стресса рекомендован также дополнительный прием экзогенных антиоксидантов, которые подразделяются на два типа – индукторы активности ферментов антиоксидантной защиты (например, многие вещества-адаптогены – тритерпеновые и стероидные гликозиды, экидистероиды) и вещества – ловушки свободных радикалов (витамин Е, полифенолы и биофлаваноиды растений). К настоящему времени выявлена антиоксидантная активность экстрактов многих видов растений и установлена природа веществ, ответственных за антиоксидантное действие. Вместе с тем поиск новых источников антиоксидантов остается актуальной областью исследований [28, 29].

Для оценки антирадикальной активности использовался метод, основанный на реакции DPPH с образцом антиоксиданта. Из полученных данных, представленных на рисунке 3, следует, что все исследованные образцы листьев витексов четырех видов в 60, 70 и 96%-ном этаноле проявляют высокую антирадикальную активность, сравнимую с рутином, использованным в качестве стандартного соединения (94.2%). Наиболее выраженной антирадикальной активностью обладал образцы листьев *V. agnus-castus* в 96%-ном этаноле (92.2%) и *V. tripinnata* в 60%-ном этаноле (88.2%), что согласуется с полученными ранее данными об очень высокой антирадикальной активности экстрактов *V. cannabifolia*, *V. agnus-castus* и *V. negundo*, произрастающих на территории Украины (доля радикалов DPPH, ингибированных за 30 мин, составила практически 100%) [30].

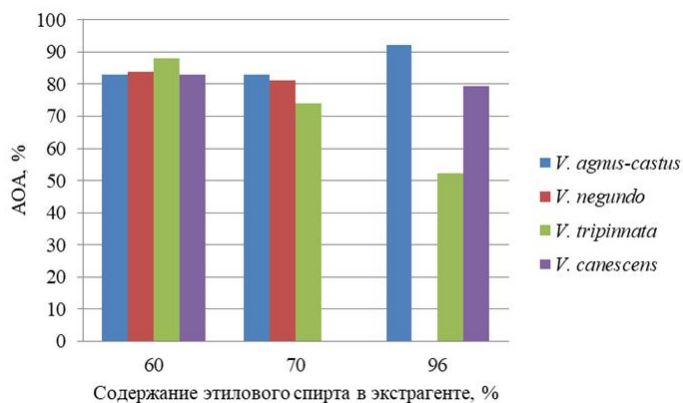


Рис. 3. Антирадикальная активность водно-спиртовых экстрактов растений рода *Vitex*

Поскольку все изученные экстракты листьев витексов проявили высокую антирадикальную активность независимо от содержания полифенолов и флавоноидов, это позволяет утверждать, что вклад в антирадикальное действие экстрактов вносят и другие сопутствующие биологически активные вещества, входящие в состав экстрактивных веществ, например, фитостероиды, обнаруженные ранее в видах *V. canescens* и *V. tripinnata* [31].

### Заключение

Проведено сравнительное фитохимическое исследование выборочных видов рода *Vitex* L. (Lamiaceae) из флоры России и Вьетнама: *V. agnus-castus*, *V. canescens*, *V. negundo*, *V. tripinnata* в качестве растительного сырья для использования в медицине. Выход экстрактивных веществ оказался наибольшим при использовании экстрагента при содержании этанола 60%-ного для образцов листьев всех четырех исследованных видов. При этом наибольшее количество экстрактивных веществ было получено из листьев *V. agnus-castus*. (640.8 мг/г сухой массы). Далее в порядке убывания располагаются *V. negundo*, *V. canescens* и *V. tripinnata* (соответственно, 464.1, 384.6, 198.0 мг/г). Качественные цветные реакции с реактивами Трим-Хилла и Шталя показали высокое содержание иридоидов в экстрактах листьев *V. agnus-castus* и *V. negundo* и не дали положительной пробы в экстрактах листьев *V. tripinnata* и *V. canescens*. Методом тонкослойной хроматографии определен качественный состав иридоидов. Наибольшее количество метаболитов иридоидной природы обнаружено в экстрактах *V. agnus-castus* и *V. negundo*. Во всех исследованных образцах, за исключением образца листьев *V. tripinnata*, обнаружен иридоид, который, по видимому, можно считать хемотаксономическим маркером рода. Определено содержание полифенолов в водно-спиртовых экстрактах листьев изучаемых видов. По сравнению с другими видами наибольшее количество полифенолов содержится в экстракте листьев *V. agnus-castus* (300–400 мг/г), что сравнимо с содержанием полифенолов в зеленом чае (200–350 мг/г). Наименьшее количество полифенолов содержится в листьях *V. canescens* (100–120 мг/г). При изучении содержания флавоноидов в листьях изучаемых видов установлено, что наибольшее их количество содержится в образце листьев *V. agnus-castus* (от 3 до 4% от сухой биомассы) при использовании в качестве экстрагента водного этанола. Наименьшее количество флавоноидов содержится в листьях *V. tripinnata* (0.72%). При изучении содержания макро- и микроэлементов установлено, что все исследованные образцы витексов характеризуются повышенным содержанием эссенциальных микроэлементов – железа, меди и цинка, а листья *V. tripinnata* – также высоким содержанием кобальта. Необычно высокое содержание марганца во всех исследованных образцах можно объяснить особенностями состава почв. Установлена высокая антирадикальная активность всех образцов листьев изучаемых видов витексов, сравнимая с величиной антирадикальной активности для стандартного соединения – рутина. Полученный результат можно объяснить большим содержанием суммы экстрактивных веществ в листьях изучаемых видов и значительным вкладом в их состав соединений полифенольно-флавоноидного комплекса.

В будущих исследованиях следует продолжить изучение состава и количественного содержания иридоидов и других групп вторичных метаболитов (экистероидов) в роде *Vitex*, что позволит установить не только хемотаксономическое значение этих соединений в изучаемом роде, но и использовать полученные закономерности в целях ботанического ресурсосведения и создания новых галеновых и новогаленовых лекарственных препаратов с ожидаемым фитохимическим составом и фармакологической активностью.

*Авторы благодарят Генерального содиректора Российско-вьетнамского тропического центра доктора биологических наук А.Н. Кузнецова за помощь в организации исследований, а также руководство и сотрудников Национальных парков Кук Фьонг и Кат Тьен за помощь во время экспедиционных работ на территории Вьетнама.*

### Список литературы

1. Harley R. In search of Labiatae in Eastern Brazil // *Vitex: A Newsletter for Lamiaceae & Verbenaceae Research*. 2000. Vol. 1. Pp. 5–7.
2. Монаший перец (*Vitex agnus castus*, прутняк, авраамово дерево). [Электронный ресурс]. URL: <https://argovera.ru/article/monashij-perec>.
3. *Vitex negundo* [Электронный ресурс]. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Vitex\\_negundo](https://en.wikipedia.org/wiki/Vitex_negundo).
4. *Vitex trifolia* [Электронный ресурс]. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Vitex\\_trifolia](https://en.wikipedia.org/wiki/Vitex_trifolia).
5. *Vitex rotundifolia* [Электронный ресурс]. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Vitex\\_rotundifolia](https://en.wikipedia.org/wiki/Vitex_rotundifolia).
6. Вуттке В., Зайдлова-Вуттке Д., Ярри Г., Артымук Н. Роль Витекса священного (*Vitex agnus castus*) в гинекологической эндокринологии // Гинекология. 2012. Т. 14. №1. С. 8–11.



7. VCO, Lagundi as natural remedies against COVID-19 bannered in Science & Tech Week [Электронный ресурс]. URL: <https://www.msn.com/en-ph/news/national/vco-lagundi-as-natural-remedies-against-covid-19-bannered-in-science-and-tech-week/ar-AAQzUVO?ocid=enph-prime-hp-me>.
8. Das N., Salgueiro A.C.F., Choudhury D.R., Mandal S.K., Logesh R., Hassan Md.M., Devkota H.P. Traditional uses, phytochemistry, and pharmacology of genus *Vitex* (Lamiaceae) // *Phytotherapy Research*. 2022. Vol. 36. Pp. 571–671.
9. Rani A., Sharma A. The genus *Vitex*: A review // *Pharmacognosy Reviews*. 2013. Vol. 7. Pp. 188–198. DOI: 10.4103/0973-7847.120522.
10. Государственная фармакопея РФ, XIV изд. М., 2018. Т. 2. С. 2356
11. Siju E.N. et al. Adaptogenic active component from *Mухopyrum smilacifolium* // *Int. J. Curr. Pharm. Res*. 2017. Vol. 9. Pp. 110–113. DOI: 10.22159/ijcpr.2017v9i1.16630.
12. Деготь А.В., Литвиненко В.И., Ковалев И.П. Иридоиды из *Odontites serotina* (Lam) Dut. // *Растительные ресурсы*. 1971. Т. 7. №3. С. 390–396.
13. Литвиненко В.И., Аронова Г.Н. Иридоиды *Betonica foliosa* // *Химия природных соединений*. 1968. №5. С. 319.
14. Cai M., Hou W., Lv Yu., Sun P. Behavior and rejection mechanisms of fruit juice phenolic compounds in model solution during nanofiltration // *Journal of Food Engineering*. 2017. Vol. 195. Pp. 97–104. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2016.09.024.
15. Денисенко Т.А., Вишник А.Б., Цыганок Л.П. Спектрофотометрическое определение суммы фенольных соединений в растительных объектах с использованием хлорида алюминия, 18-молибдодифосфата и реактива Фолина-Чокальтеу // *Аналитика и контроль*. 2015. №4. С. 373–380. DOI: 10.15826/analitika.2015.19.4.012.
16. Володин В.В., Во Тхи Хоай Т., Володина С.О., Ву Тхи Л. Антиоксидантная активность выборочных видов флоры Вьетнама // *Journal of Tropical Science and Technology*. 2017. №13. С. 138–146.
17. Кузина В.Н., Малашенко Е.А., Эллер К.И. Стандартизация лекарственного растительного сырья, содержащего иридоиды. Обзор // *Сеченовский вестник*. 2011. №3(5)-4(6). С. 31–38.
18. Das N., Salgueiro A.C.F., Choudhury D.R., Mandal S.K., Logesh R., Hassan Md.M., Devkota H.P. Traditional uses, phytochemistry, and pharmacology of genus *Vitex* (Lamiaceae) // *Phytotherapy Research*. 2022. Vol. 36. Pp. 571–671. DOI: 10.1002/ptr.7330.
19. Singha M., Thrimawithana T., Shukla R., Adhikari B. Managing obesity through natural polyphenols: A review // *Future foods*. 2020. Vol. 2. Article 100002. DOI: 10.1016/j.fufo.2020.100002.
20. Truong V.-L., Jeanh W.-S. Antioxidant and anti-inflammatory roles of tea polyphenols in inflammatory bowel diseases // *Food and human wellness*. 2022. Vol. 11. Pp. 501–511. DOI: 10.1016/j.fshw.2021.12.008
21. Williamson G. The role of polyphenols in modern nutrition // *Nutr. Bull*. 2017. Vol. 42(3). Pp. 226–235. DOI: 10.1111/nbu.12278.
22. Безматерных К.В., Ширшова Т.И., Бешлей И.В., Матистов Н.В., Смирнова Г.В., Октябрьский О.Н., Володин В.В. Оценка антиоксидантной активности экстрактов *Allium schoenoprasum* L. и *Rubus chamaemorus* L., произрастающих в Республике Коми // *Химико-фармацевтический журнал*. 2014. Т. 48. №2. С. 36–40. DOI: 10.30906/0023-1134-2014-48-2-36-40.
23. Володин В.В., Безматерных К.В., Смирнова Г.В., Октябрьский О.Н., Алексеева Л.И., Канев В.А. Антиоксидантные свойства экстрактов растений семейства Lamiaceae, произрастающих в Республике Коми // *Известия Коми научного центра УрО РАН*. 2014. №1 (17). С. 27–31.
24. Патент №2174011 (РФ). Способ получения полифенолов / Л.П. Рубчевская, О.И. Лебедева, В.М. Ушанова, Е.В. Лис, С.М. Репях. – 27.09.2001.
25. Масленников П.В., Чупахина Г.Н., Скрыпник Л.Н. Содержание фенольных соединений в лекарственных растениях ботанического сада // *Известия РАН. Серия Биологическая*. 2013. №5. С. 551–557. DOI: 10.7868/S000233291305010X.
26. Еремеева Н.Б., Макарова Н.В., Платонов И.А. Антиоксидантная активность экстрактов черноплодной рябины, полученных в надкритических условиях // *Техника и технология пищевых производств*. 2016. Т. 42. №3. С. 12–18.
27. Биохимия чая. Основные группы веществ, входящие в состав чая [Электронный ресурс]. URL: <https://www.tea-terra.ru/2014/06/16/16894>.
28. Sousa S., Pinto J., Rodrigues C., Gião M., Pereira C., Tavaría F., Malcata F.X., Gomes A., Pacheco M.T.V., Pintado M. Antioxidant properties of sterilized yacon (*Smallanthus sonchifolius*) tuber flour // *Food Chemistry*. 2015. Vol. 188. Pp. 504–509. DOI: 10.1016/j.foodchem.2015.04.047.
29. Еремеева Н.Б., Макарова Н.В. Изучение содержания антиоксидантов и их активности в концентрированных экстрактах из ягод клюквы (*Vaccinium Oxycoccus*), облепихи (*Hippophae rhamnoides* L.), ежевики (*Rubus fruticosus*), калины (*Viburnum opulus* L.) и рябины (*Sorbus aucuparia* L.) // *Химия растительного сырья*. 2021. №4. С. 157–164. DOI: 10.14258/jcprm.2021049365.
30. Лагута И.В., Ставинская О.Н., Дзюба О.И., Иванников Р.В. Антиоксидантные/восстановительные свойства экстрактов из листьев растений рода *Vitex* // *Допов. Нац. акад. наук Укр*. 2017. №5. С. 73–79.
31. Володин В.В., Ву Тхи Л., Володина С.О., Кузнецов А.Н. Экдистероидсодержащие растения национального парка Кук Фьонг (Северный Вьетнам) // *Известия Коми НЦ УрО РАН*. 2018. Т. 3. №35. С. 46–53.

Поступила в редакцию 18 ноября 2022 г.

После переработки 6 марта 2023 г.

Принята к публикации 15 марта 2023 г.

**Для цитирования:** Володина С.О., Некрасова Е.В., Ву Тхи Лоан, Очагова А.Ю., Топкова О.В., Володин В.В. Фитохимический анализ и антиоксидантная активность экстрактов растений рода *Vitex* L. (Lamiaceae) // *Химия растительного сырья*. 2023. №3. С. 171–181. DOI: 10.14258/jcprm.20230312150.

Volodina S.O.<sup>1,2\*</sup>, Nekrasova Ye.V.<sup>2</sup>, Vu Thi Loan<sup>3</sup>, Ochagova A.Yu.<sup>2</sup>, Topkova O.V.<sup>2</sup>, Volodin V.V.<sup>1,4</sup>  
 PHYTOCHEMICAL ANALYSIS AND ANTIOXIDANT ACTIVITY OF EXTRACTS OF PLANTS OF THE GENUS  
*VITEX* L. (LAMIACEAE)

<sup>1</sup> Institute of Biology, Federal Research Center Komi Scientific Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, ul. Kommunisticheskaya, 28, Syktyvkar, 167000 (Russia), e-mail: svetlana20664@yandex.ru

<sup>2</sup> St. Petersburg State Chemical and Pharmaceutical University, ul. Professora Popova, 14a, St. Petersburg, 197022 (Russia)

<sup>3</sup> Institute of Tropical Medicine of the Russian-Vietnamese Tropical Research and Technology Center, ul. Nguyen Van Huyen, Nghia Do, Cau Zay, Hanoi (Vietnam)

<sup>4</sup> St. Petersburg State Forestry University named after. CM. Kirova, Institutsky per, 5, St. Petersburg, 194021 (Russia)

A comparative phytochemical study of selected species of the genus *Vitex* L. (Lamiaceae) (*V. agnus-castus*, *V. canescens*, *V. negundo*, *V. tripinnata*) from the flora of Russia and Vietnam out was carried. The largest amount of extractive compounds was obtained from the leaves of *V. agnus-castus* when extracted with 60 % ethanol. Color reactions with Trim Hill and Stahl reagents, as well as thin-layer chromatography data, showed a high content of iridoids in extracts of leaves of *V. agnus-castus* and *V. negundo* and their low content (or absence) in *V. tripinnata* and *V. canescens* leaf extracts. The greatest amount of polyphenols and flavonoids is contained in the extract of the leaves of *V. agnus-castus*. The smaller amount of polyphenols is found in the leaves of *V. canescens*, and least amount of flavonoids is found in the leaves of *V. tripinnata*. All *Vitex* samples studied are characterized by an increased content of essential trace elements – iron, copper and zinc, and the leaves of *V. tripinnata* are also high in cobalt. High antiradical activity of all leaf samples of *Vitex* species was established. The relationship between the content of secondary metabolites and the position of species on the molecular phylogenetic tree of the genus *Vitex* is shown, which makes it possible to develop a chemotaxonomic forecast for search species of this genus with an increased content of biologically active compounds of a certain class (iridoids, polyphenols, phytoecdysteroids) for further pharmacological studies

**Keywords:** *Vitex* species, medicinal plants, places of habitation, Russia, Vietnam, secondary metabolites, iridoids, polyphenols, flavonoids, trace elements, molecular-phylogenetic analysis, chemotaxonomy.

### References

1. Harley R. *Vitex: A Newsletter for Lamiaceae & Verbenaceae Research*, 2000, vol. 1, pp. 5–7.
2. *Monashiy perets (Vitex agnus castus, prutnyak, avraamovo derevo)*. [Monk's pepper (*Vitex agnus castus*, twig, Abraham tree)]. URL: <https://argovera.ru/article/monashij-perec>. (in Russ.).
3. *Vitex negundo*. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Vitex\\_negundo](https://en.wikipedia.org/wiki/Vitex_negundo).
4. *Vitex trifolia*. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Vitex\\_trifolia](https://en.wikipedia.org/wiki/Vitex_trifolia).
5. *Vitex rotundifolia*. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Vitex\\_rotundifolia](https://en.wikipedia.org/wiki/Vitex_rotundifolia).
6. Vuttke V., Zaydlova-Vuttke D., Yarii G., Artyumuk N. *Ginekologiya*, 2012, vol. 14, no. 1, pp. 8–11. (in Russ.).
7. *VCO, Lagundi as natural remedies against COVID-19 bannered in Science & Tech Week*. URL: <https://www.msn.com/en-ph/news/national/vco-lagundi-as-natural-remedies-against-covid-19-bannered-in-science-and-tech-week/ar-AAQzUVo?ocid=enph-prime-hp-me>.
8. Das N., Salgueiro A.C.F., Choudhury D.R., Mandal S.K., Logesh R., Hassan Md.M., Devkota H.P. *Phytotherapy Research*, 2022, vol. 36, pp. 571–671.
9. Rani A., Sharma A. *Pharmacognosy Reviews*, 2013, vol. 7, pp. 188–198. DOI: 10.4103/0973-7847.120522.
10. *Gosudarstvennaya farmakopeya RF, XIV izd.* [State Pharmacopoeia of the Russian Federation, XIV ed.]. Moscow, 2018, vol. 2, pp. 2356. (in Russ.).
11. Siju E.N. et al. *Int. J. Curr. Pharm. Res.*, 2017, vol. 9, pp. 110–113. DOI: 10.22159/ijcpr.2017v9i1.16630.
12. Degot' A.V., Litvinenko V.I., Kovalev I.P. *Rastitel'nyye resursy*, 1971, vol. 7, no. 3, pp. 390–396. (in Russ.).
13. Litvinenko V.I., Aronova G.N. *Khimiya prirodnykh soyedineniy*, 1968, no. 5, p. 319. (in Russ.).
14. Cai M., Hou W., Lv Yu., Sun P. *Journal of Food Engineering*, 2017, vol. 195, pp. 97–104. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2016.09.024.
15. Denisenko T.A., Vishnikin A.B., Tsyganok L.P. *Analitika i kontrol'*, 2015, no. 4, pp. 373–380. DOI: 10.15826/analitika.2015.19.4.012. (in Russ.).
16. Volodin V.V., Vo Tkhi Khoay T., Volodina S.O., Vu Tkhi L. *Journal of Tropical Science and Technology*, 2017, no. 13, pp. 138–146. (in Russ.).
17. Kuzina V.N., Malashenko Ye.A., Eller K.I. *Sechenovskiy vestnik*, 2011, no. 3(5)-4(6), pp. 31–38. (in Russ.).
18. Das N., Salgueiro A.C.F., Choudhury D.R., Mandal S.K., Logesh R., Hassan Md.M., Devkota H.P. *Phytotherapy Research*, 2022, vol. 36, pp. 571–671. DOI: 10.1002/ptr.7330.
19. Singha M., Thrimawithana T., Shuklaa R., Adhikari B. *Future foods*, 2020, vol. 2, article 100002. DOI: 10.1016/j.fufo.2020.100002.
20. Truong V.-L., Jeanh W.-S. *Food and human wellness*, 2022, vol. 11, pp. 501–511. DOI: 10.1016/j.fshw.2021.12.008
21. Williamson G. *Nutr. Bull.*, 2017, vol. 42(3), pp. 226–235. DOI: 10.1111/nbu.12278.
22. Bezmaternykh K.V., Shirshova T.I., Beshley I.V., Matisov N.V., Smirnova G.V., Oktyabr'skiy O.N., Volodin V.V. *Khimiko-farmatsevticheskiy zhurnal*, 2014, vol. 48, no. 2, pp. 36–40. DOI: 10.30906/0023-1134-2014-48-2-36-40. (in Russ.).

\* Corresponding author.

23. Volodin V.V., Bezmaternykh K.V., Smirnova G.V., Oktyabr'skiy O.N., Alekseyeva L.I., Kanev V.A. *Izvestiya Komi nauchnogo tsentra UrO RAN*, 2014, no. 1 (17), pp. 27–31. (in Russ.).
24. Patent 2174011 (RU). 27.09.2001. (in Russ.).
25. Maslennikov P.V., Chupakhina G.N., Skrypnik L.N. *Izvestiya RAN. Seriya Biologicheskaya*, 2013, no. 5, pp. 551–557. DOI: 10.7868/S000233291305010X. (in Russ.).
26. Yeremeyeva N.B., Makarova N.V., Platonov I.A. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv*, 2016, vol. 42, no. 3, pp. 12–18. (in Russ.).
27. *Biokhimiya chaya. Osnovnyye gruppy veshchestv, vkhodyashchiye v sostav chaya* [Biochemistry of tea. The main groups of substances that make up tea]. URL: <https://www.tea-terra.ru/2014/06/16/16894>. (in Russ.).
28. Sousa S., Pinto J., Rodrigues C., Gião M., Pereira C., Tavaría F., Malcata F.X., Gomes A., Pacheco M.T.B., Pintado M. *Food Chemistry*, 2015, vol. 188, pp. 504–509. DOI: 10.1016/j.foodchem.2015.04.047.
29. Yeremeyeva N.B., Makarova N.V. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2021, no. 4, pp. 157–164. DOI: 10.14258/jcprm.2021049365. (in Russ.).
30. Laguta I.V., Stavinskaya O.N., Dzyuba O.I., Ivannikov R.V. *Dopov. Nats. akad. nauk Ukr.*, 2017, no. 5, pp. 73–79. (in Russ.).
31. Volodin V.V., Vu Tkhi L., Volodina S.O., Kuznetsov A.N. *Izvestiya Komi NTS UrO RAN*, 2018, vol. 3, no. 35, pp. 46–53. (in Russ.).

*Received November 18, 2022*

*Revised March 6, 2023*

*Accepted March 15, 2023*

**For citing:** Volodina S.O., Nekrasova Ye.V., Vu Thi Loan, Ochagova A.Yu., Topkova O.V., Volodin V.V. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2023, no. 3, pp. 171–181. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.20230312150.

