



УДК 543.865/.867

<https://doi.org/10.33380/2305-2066-2026-15-1-2239>

Разработка и валидационная оценка методики спектрофотометрического определения суммы ароматических соединений в плодах и эфирном масле фенхеля обыкновенного

Р. Ш. Хазиев¹, С. Д. Рюмин¹✉, Г. Р. Рамаева¹, А. В. Немтарев²

¹ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Казанский государственный медицинский университет" Министерства здравоохранения Российской Федерации (ФГБОУ ВО Казанский ГМУ Минздрава России). 420012, Россия, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Бултерова, д. 49

² Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет» (КФУ). 420008, Россия, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Кремлевская, д. 18

✉ Контактное лицо: Рюмин Сергей Денисович. E-mail: ryumin-2000@list.ru

ORCID: Р. Ш. Хазиев – <https://orcid.org/0009-0007-7200-6929>;

С. Д. Рюмин – <https://orcid.org/0009-0000-6226-291X>;

Г. Р. Рамаева – <https://orcid.org/0009-0009-4687-4153>;

А. В. Немтарев – <https://orcid.org/0000-0001-8478-2705>.

Статья поступила: 27.11.2025

Статья принята в печать: 10.02.2026

Статья опубликована: 13.02.2026

Резюме

Введение. Плоды фенхеля обладают выраженной ветрогонной и спазмолитической активностью благодаря особенности состава эфирного масла, доминирующим компонентом которого является фенилпропаноид – *транс*-анетол. Его содержание в эфирном масле может варьироваться в широком диапазоне. При этом в Российской фармакопее XV издания стандартизация по содержанию анетола для плодов фенхеля не предусмотрена.

Цель. Разработка и валидационная оценка спектрофотометрической методики определения суммы ароматических соединений в пересчете на анетол в эфирном масле плодов фенхеля обыкновенного.

Материал и методы. В качестве объекта исследования использовались плоды фенхеля обыкновенного (*Foeniculum vulgare* Mill.) производства ООО Фирма «Здоровье» 2024 года. В работе использовали спектрофотометр UNICO-2802 (Россия), весы аналитические АДВ-200М (Россия), газовый хроматограф GCMS-QP2010 Ultra (Shimadzu, Япония), совмещенный с масс-селективным детектором. При спектрофотометрическом определении навески эфирного масла и стандартного образца анетола растворяли в 95%-м спирте и снимали оптические плотности растворов при длине волны 259 нм в кюветах с толщиной слоя 10 мм. Результаты спектрофотометрической методики подтверждали с помощью газовой хроматографии.

Результаты и обсуждение. Валидация представленной методики, проведенная в соответствии с требованиями ОФС.1.1.0012 «Валидация аналитических методов» Государственной фармакопее XV издания, показала ее специфичность, линейность, прецизионность и правильность. Результаты не отягощены систематической погрешностью. Относительное стандартное отклонение (RSD) не превышает 2,0 %. Результаты спектрофотометрического определения суммы ароматических соединений в пересчете на анетол ($46,5 \pm 0,7$ %) коррелируют с результатами ГЖХ-анализа ($48,6 \pm 1,1$ %).

Заключение. Разработанная методика количественного определения суммы ароматических соединений в пересчете на анетол может быть использована для стандартизации как самих плодов фенхеля обыкновенного путем введения дополнительного критерия оценки качества его эфирного масла в раздел «Количественное определение», так и эфирного масла фенхеля, используемого в качестве субстанции для изготовления лекарственных препаратов.

Ключевые слова: анетол, фенхель обыкновенный (*Foeniculum vulgare* Mill.), валидация, количественное определение, спектрофотометрия, ГЖХ

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

© Хазиев Р. Ш., Рюмин С. Д., Рамаева Г. Р., Немтарев А. В., 2026

© Khaziev R. Sh., Ryumin S. D., Ramaeva G. R., Nemtarev A. V., 2026

Вклад авторов. Р. Ш. Хазиев – идея, окончательное редактирование рукописи, интерпретация результатов. С. Д. Рюмин – проведение эксперимента, анализ и интерпретация полученных данных, подготовка черновика рукописи, анализ литературы, написание и подготовка рукописи для публикации. Г. Р. Рамаева – проведение эксперимента, анализ и интерпретация полученных данных. А. В. Немтарев – проведение эксперимента (газохроматографический анализ), анализ и интерпретация полученных данных, редактирование рукописи.

Для цитирования: Хазиев Р. Ш., Рюмин С. Д., Рамаева Г. Р., Немтарев А. В. Разработка и валидационная оценка методики спектрофотометрического определения суммы ароматических соединений в плодах и эфирном масле фенхеля обыкновенного. *Разработка и регистрация лекарственных средств.* 2026;15(1):182–191. <https://doi.org/10.33380/2305-2066-2026-15-1-2239>

Development and validation evaluation of a technique for the spectrophotometric determination of the amount of aromatic compounds in fruits and essential oil of fennel

Ramil' Sh. Khaziev¹, Sergey D. Ryumin¹✉, Gel'fiya R. Ramaeva¹, Andrey V. Nemtarev²

¹ Kazan State Medical University (KSMU). 49, Butlerova str., Kazan, Republic of Tatarstan, 420012, Russia

² Kazan (Volga region) Federal University (KFU). 18, Kremlevskaya str., Kazan, Republic of Tatarstan, 420008, Russia

✉ **Corresponding author:** Sergey D. Ryumin. **E-mail:** ryumin-2000@list.ru

ORCID: Ramil' Sh. Khaziev – <https://orcid.org/0009-0007-7200-6929>;
Sergey D. Ryumin – <https://orcid.org/0009-0000-6226-291X>;
Gel'fiya R. Ramaeva – <https://orcid.org/0009-0009-4687-4153>;
Andrey V. Nemtarev – <https://orcid.org/0000-0001-8478-2705>.

Received: 27.11.2025

Accepted: 10.02.2026

Published: 13.02.2026

Abstract

Introduction. Fennel fruits have pronounced carminative and antispasmodic activities due to the composition of the essential oil. The major component of the fennel fruits essential oil is phenylpropanoid *trans*-anethole. Its content in essential oil varies over a wide range. However, the Russian Pharmacopoeia XV does not provide for a standardization of anethole content for fennel fruits.

Aim. The aim is to develop and validate a spectrophotometric method for determining the amount of aromatic compounds in terms of anethole in the fennel fruits essential oil.

Material and methods. The fruits of common fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) produced by LLC Firma "Zdorovye" in 2024 were used as the object of the study. A UNICO-2802 spectrophotometer (Russia), ADV-200M analytical scales (Russia), GCMS-QP2010 Ultra gas chromatograph (Shimadzu, Japan) combined with a mass-selective detector were used in the work. An essential oil and a standard anethole samples were dissolved in 95 % ethanol during the spectrophotometric determination. The optical densities of the test solutions at 259 nm were determined in cuvettes with a layer thickness of 10 mm. The results of the spectrophotometric method were confirmed by gas chromatography.

Results and discussion. Validation of the presented method in accordance with the requirements of OFC.1.1.0012 "Validation of analytical methods" of the State Pharmacopoeia XV edition was carried out. Its specificity, linearity, precision and correctness were showed. Results are not subject to systematic error. The relative standard deviation (RSD) does not exceed 2.0 %. The results of spectrophotometric determination of the amount of aromatic compounds in terms of anethole (46.5 ± 0.7 %) correlate with the results of GC analysis (48.6 ± 1.1 %).

Conclusion. The developed method for quantifying the amount of aromatic compounds in terms of anethole can be used to standardize both the fennel fruits themselves and the essential oil obtained from them.

Keywords: anethole, fennel vulgare (*Foeniculum vulgare* Mill.), validation, quantification, spectrophotometry, GC

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

Contribution of the authors. Ramil' Sh. Khaziev – idea, final editing of the manuscript, interpretation of the results. Sergey D. Ryumin – conducting an experiment, analysis and interpretation of the data obtained, preparation of a draft manuscript, literature analysis, writing and preparation of the manuscript for publication. Gel'fiya R. Ramaeva – conducting an experiment, analysis and interpretation of the data obtained. Andrey V. Nemtarev – conducting an experiment (gas chromatographic analysis), analysis and interpretation of the data obtained, editing of the manuscript.

For citation: Khaziev R. Sh., Ryumin S. D., Ramaeva G. R., Nemtarev A. V. Development and validation evaluation of a technique for the spectrophotometric determination of the amount of aromatic compounds in fruits and essential oil of fennel. *Drug development & registration.* 2026;15(1):182–191. (In Russ.) <https://doi.org/10.33380/2305-2066-2026-15-1-2239>

ВВЕДЕНИЕ

Фенхель обыкновенный (*Foeniculum vulgare* Mill.) – травянистое эфиромасличное растения семейства сельдерейных (*Ariaceae*). Фенхель находит широкое применение в медицинской практике для лечения функциональных нарушений ЖКТ, в том числе детских коликов, благодаря выраженной ветрогонной и спазмолитической активности, а также для лечения заболеваний верхних дыхательных путей у детей как отхаркивающее средство [1–3].

Такая фармакологическая активность обусловлена особенностью состава эфирного масла плодов фенхеля, доминирующим компонентом которого является фенилпропаноид – *транс*-анетол (рисунок 1) [4].

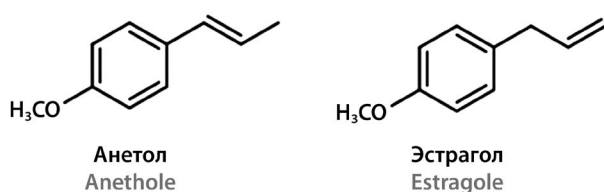


Рисунок 1. Химическая структура анетола и эстрагола

Figure 1. Chemical structure of anethole and estragole

Однако в ряде публикаций было показано, что содержание анетола в эфирном масле плодов фенхеля в зависимости от сорта может варьироваться в широком диапазоне. Помимо сортовой принадлежности, ключевую роль в накоплении анетола также играют такие факторы, как место и климатические условия произрастания растений, вегетативная фаза сбора плодов. При этом, помимо анетола, в эфирном масле плодов фенхеля может накапливаться имеющий схожее строение с анетолом фенилпропаноид – эстрагол. Эстрагол по отношению к анетолу в плодах фенхеля может накапливаться как в небольших количествах, так и в приблизительно равных, а может и значительно его превышать [5–9]. В экспериментах на животных было показано, что эстрагол проявляет канцерогенную и мутагенную активность [10], и содержание его в растительных объектах должно регламентироваться.

Плоды фенхеля включены в Европейскую фармакопею 11-го издания. В зависимости от количественного содержания анетола в эфирном масле Европейская фармакопея выделяет в отдельные статьи два подвида фенхеля: горький и сладкий. Так, для сладкого подвида установлено предельное содержание анетола в эфирном масле – не менее 80 %, а для горького – не менее 60 %. Для обоих подвигов стандартизация ведется по содержанию эфирного масла с дополнительным определением основных компонентов методом газовой хроматографии. Помимо этого, Европейская фармакопея отдельно предлагает стан-

дартизацию эфирного масла фенхеля горького методом газовой хроматографии¹.

В то же время Российская фармакопея XV издания не разделяет плоды фенхеля на подвиды и предлагает проводить стандартизацию плодов фенхеля только по содержанию эфирного масла с обнаружением основных групп биологически активных веществ (анетола и фенхона) методами тонкослойной и газовой хроматографии без их количественного определения² [11–13], что, по нашему мнению, является не совсем корректным, так как в зависимости от сорта содержание анетола в эфирном масле фенхеля может широко варьироваться. На сайте Института фармакопеи и стандартизации в сфере обращения лекарственных средств ФГБУ «НЦЭСМП» был опубликован проект фармакопейной статьи «Фенхеля обыкновенного плоды горькие» для включения в Российскую фармакопею, в котором предлагается дополнительно определять в эфирном масле содержание анетола (не менее 60 %), фенхона (не менее 15 %) и эстрагола (не более 5 %) методом газовой хроматографии³.

С учетом вышеизложенного представляется актуальным дополнить стандартизацию плодов фенхеля обыкновенного по содержанию анетола.

За счет ароматической структуры анетол способен поглощать ультрафиолетовый свет в диапазоне длин волн от 250 до 260 нм, где максимум поглощения приходится на 259 нм (рисунок 2). Это дает возможность использовать спектрофотометрический метод определения суммы ароматических компонентов в эфирном масле фенхеля обыкновенного, основываясь на измерении оптической плотности спиртового раствора эфирного масла. Между тем в ряде случаев высокое содержание эстрагола в эфирном масле в теории могло бы мешать определению анетола спектрофотометрическим методом из-за его ароматической структуры и способности поглощать УФ-свет в том же диапазоне, что и анетол. Нами был зарегистрирован УФ-спектр спиртового раствора эстрагола (28,1 мкг/мл), где максимум поглощения приходился на 277 нм (рисунок 2).

В дополнение к этому эстрагол имеет низкое значение удельного показателя поглощения, при разведении раствора эстрагола в 10 раз, как это делается для анетола, его оптическая плотность значительно падает. На рисунке 3 представлены спектры спиртовых растворов анетола и эстрагола в концентрации 2,81 мкг/мл.

¹ European Pharmacopeia. 11.8 edition. Strasbourg: EDQM; 2015. Available at: <https://www.edqm.eu/en/european-pharmacopoeia>. Accessed: 10.09.2025.

² Государственная фармакопея Российской Федерации XV издания. Доступно по: <https://pharmacopoeia.regmed.ru/pharmacopoeia/izdanie-15/> Ссылка активна на 10.09.2025.

³ Проект фармакопейной статьи «Фенхеля обыкновенного плоды горькие». Доступно по: <https://pharmacopoeia.regmed.ru/pharmacopoeia-projects/izdanie-15/fenkhelya-obyknoennogo-plody-gorkie/?vers=8061&projects=Y&comments=y>. Ссылка активна на 10.09.2025.

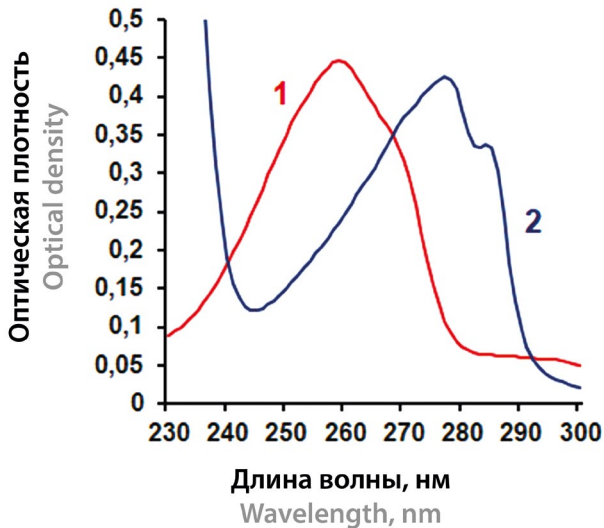


Рисунок 2. УФ-спектр спиртовых растворов анетолола (2,81 мкг/мл) (1) и эстрагола (28,1 мкг/мл) (2)

Figure 2. UV spectrum of alcohol solution of anethole (2.81 mcg/ml) (1) and estragole (28.1 mcg/ml) (2)

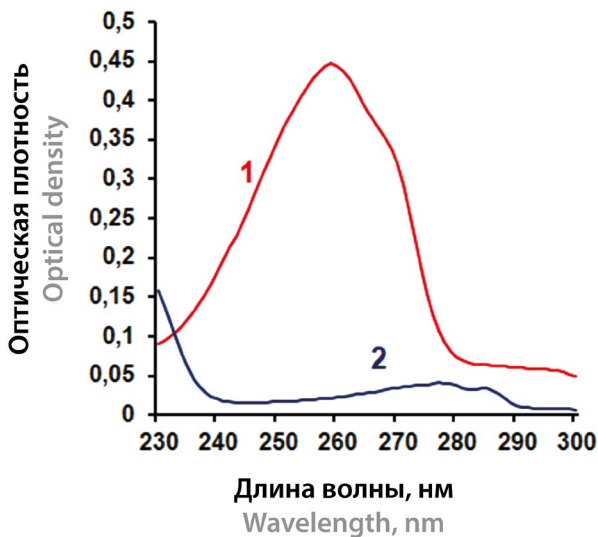


Рисунок 3. УФ-спектр спиртовых растворов анетолола (1), эстрагола (2) в концентрации 2,81 мкг/мл

Figure 3. UV spectrum of alcohol solutions of anethole (1), estragole (2) in the concentration 2.81 mcg/ml

Бициклический монотерпен фенхон (до 25 %) не поглощает ультрафиолетовый свет в указанной области, а анисовый альдегид (до 2 %) вносит несущественный вклад в оптическую плотность спиртового раствора эфирного масла фенхеля обыкновенного. Таким образом, данный метод позволяет определять преимущественно содержание анетолола.

Мы предлагаем спектрофотометрическую методику определения суммы ароматических соединений в пересчете на анетол в эфирном масле плодов фенхеля обыкновенного.

Результаты спектрофотометрических определений подтверждали методом газовой хроматографии – масс-спектрометрии.

Целью данной работы является разработка и валидационная оценка спектрофотометрической методики определения суммы ароматических соединений в пересчете на анетол в эфирном масле плодов фенхеля обыкновенного.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В работе использовали спектрофотометр UNICO-2802 (Россия), весы аналитические АДВ-200М (Россия), субстанцию *транс*-анетолола с содержанием основного вещества 99,0 % (Acros Organics, Бельгия), плоды фенхеля обыкновенного (*Foeniculum vulgare* L.) производства ООО Фирма «Здоровье», серия 010724, срок годности до 07.2027. Субстанцию анетолола использовали для приготовления стандартных растворов и в методе добавок.

Методика получения эфирного масла из фенхеля обыкновенного: эфирное масло получали из 15 г сырья перегонкой с водой в течение 2 часов по методу 1 Государственной фармакопеи РФ¹.

Методика приготовления раствора эфирного масла: 0,03 г (точная навеска) эфирного масла плодов фенхеля обыкновенного помещали в мерную колбу вместимостью 25 мл, растворяли в 95%-м этиловом спирте и доводили до метки тем же растворителем (раствор А). 0,1 мл раствора А переносили в мерную колбу вместимостью 10 мл и доводили объем раствора до метки тем же растворителем (раствор В). 5 мл раствора В переносили в мерную колбу вместимостью 10 мл и доводили объем раствора до метки тем же растворителем (раствор С).

Методика приготовления раствора анетолола: 0,035 г (точная навеска) анетолола помещали в мерную колбу вместимостью 25 мл, растворяли в 95%-м этиловом спирте и доводили до метки тем же растворителем (раствор D). 0,1 мл раствора D переносили в мерную колбу вместимостью 10 мл и доводили объем раствора до метки тем же растворителем (раствор E). 2,0 мл раствора E переносили в мерную колбу вместимостью 10 мл и доводили объем раствора до метки тем же растворителем (раствор F).

Методика приготовления 7 растворов анетолола для построения линейности: 0,035 г (точная навеска) анетолола помещали в мерную колбу вместимостью 25 мл, растворяли в 95%-м этиловом спирте и доводили до метки тем же растворителем (раствор D).

¹ Государственная фармакопея Российской Федерации XV издания. Доступно по: <https://pharmacopoeia.regmed.ru/pharmacopoeia/izdanie-15/> Ссылка активна на 10.09.2025.

0,1 мл раствора D переносили в мерную колбу вместимостью 10 мл и доводили объем раствора до метки тем же растворителем (раствор E). В 7 мерных колб вместимостью 10 мл вносили аликвоты по 1,4; 1,6; 1,8; 2,0; 2,2; 2,4; 2,6 мл раствора E и доводили объем раствора до метки тем же растворителем (растворы F).

Оптическую плотность растворов C и F измеряли при длине волны 259 нм в кюветах с толщиной слоя 10 мм. В качестве раствора сравнения использовали 96%-й этиловый спирт.

Содержание суммы ароматических соединений в эфирном масле (мг/г) в пересчете на анетол рассчитывали по формуле:

$$m_{\text{нд}} = \frac{A_x \cdot a_{\text{ст.}} \cdot b_x \cdot P \cdot 1000}{A_{\text{ст.}} \cdot a_x \cdot b_{\text{ст.}} \cdot 100},$$

где A_x и $A_{\text{ст.}}$ – оптическая плотность исследуемого и стандартного растворов соответственно; $a_{\text{ст.}}$ – навеска анетола для приготовления стандартного раствора, г; a_x – навеска эфирного масла для приготовления раствора, г; b_x – разведение эфирного масла;

$b_{\text{ст.}}$ – разведение анетола, где $b = \frac{V_{\text{колбы}}}{V_{\text{пипетки}}}$; P – чистота анетола.

Открываемость (%) рассчитывали из отношения «найденно – введено» по формуле:

$$R = \frac{m_{\text{нд}} \cdot 100}{m_{\text{вв}}},$$

где $m_{\text{вв}}$ – содержание суммы ароматических соединений в пересчете на анетол в эфирном масле плодов фенхеля обыкновенного, мкг.

Статистическую обработку результатов эксперимента проводили в соответствии с ОФС.1.1.0013.15 «Статистическая обработка результатов химического эксперимента»¹, используя программу Microsoft Excel.

Тандемный анализ газовой хроматографии – масс-спектрометрии (ГХ-МС) проводили с помощью газового хроматографа GCMS-QP2010 Ultra (Shimadzu, Япония), совмещенного с масс-селективным детектором, при следующих условиях: капиллярная колонка BP-1 (длина 60 м, диаметр 0,25 мм, толщина пленки 0,5 мкм) с запрограммированной температурой термостата от 70 °С в течение 2 мин, которая затем повышалась до 200 °С со скоростью 10 °С/мин, выдерживалась при конечной температуре 15 мин. Общее время работы – 30 мин. Давление – 355,7 кПа; температура инжектора – 200 °С; режим введения – 0,2 с

с делением потока 1:50, объем образца – 1 мкл; температура детектора – 220 °С; газ-носитель – гелий. Условия МС: температура ионного источника – 210 °С; электронный удар – 70 эВ; режим сбора данных – сканирование (m/z 45–500). Пики на хроматограммах идентифицировали на основе поиска в химической библиотеке с использованием программы GCMSsolution real time analysis, а также путем сравнения экспериментальных и литературных значений индексов Ковача.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Валидационную оценку методики количественного определения содержания анетола в эфирном масле фенхеля проводили по показателям: специфичности, линейности и аналитической области методики, прецизионности и правильности – в соответствии с требованиями ОФС.1.1.0012 «Валидация аналитических методик»².

Специфичность методики определяли, снимая спектры поглощения электромагнитного излучения спиртовых растворов анетола в концентрации 2,2 мкг/мл и спиртового раствора эфирного масла, полученного из плодов фенхеля обыкновенного, с содержанием анетола 2,8 мкг/мл (рисунок 4). Спектры стандартного образца анетола и эфирного масла, полученного из плодов фенхеля обыкновенного, представлены на рисунке 4. Как видно из рисунка 4, максимум поглощения анетола и эфирного масла наблюдается при длине волны 259 нм. Таким образом, предлагаемая методика количественного определения суммы ароматических соединений в пересчете на анетол в эфирном масле плодов фенхеля обыкновенного валидна по показателю «специфичность» (рисунок 4).

Линейность и аналитическую область методики устанавливали путем статистической обработки выборки, полученной в результате количественного определения 7 модельных проб (растворы E) на 7 уровнях концентрации в диапазоне 70–130 % от количества анетола, принятого за 100 % (2,81 мкг в 1 мл раствора) (таблица 1). Определение проводили в трех повторностях. На основании полученных данных строили график в координатах «оптическая плотность – концентрация анетола, мкг/мл». Исследование зависимости показало, что она имеет линейный характер и описывается уравнением: $y = ax + b$, где $a = 0,1494$, $b = 0,0103$ (рисунок 5). Рассчитанное значение коэффициента линейной корреляции r составляет 0,9994, что отвечает условию $|r| \geq 0,99$ и позволяет сделать заключение о валидности по показателям «линейность» и «аналитическая область методики».

¹ ОФС.1.1.0013.15 «Статистическая обработка результатов химического эксперимента». Доступно по: <https://pharmacopoeia.regmed.ru/pharmacopoeia/izdanie-13/1/1-1/1-1-13/> Ссылка активна на 10.09.2025.

² Государственная фармакопея Российской Федерации XV издания. Доступно по: <https://pharmacopoeia.regmed.ru/pharmacopoeia/izdanie-15/> Ссылка активна на 10.09.2025.

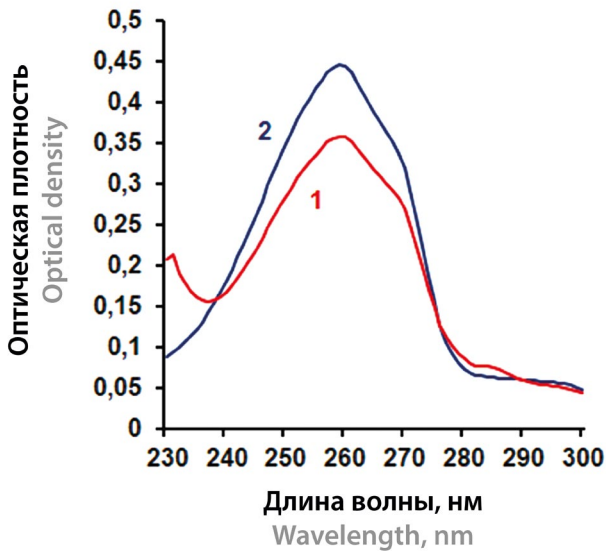


Рисунок 4. УФ-спектр спиртовых растворов анетола (1), эфирного масла из плодов фенхеля обыкновенного (2)

Figure 4. UV spectrum of alcohol solutions of anethole (1), essential oil from the fruits of fennel (2)

Прецизионность предложенной методики оценивали по повторяемости (сходимости) на 9 пробах (таблица 2), измеряя оптическую плотность растворов С. Однородность выборки проверяли с помощью Q-критерия по ОФС.1.1.0013. Рассчитанные значения Q_i меньше табличного $Q_{табл.} = 0,46$ ($n = 9, P = 95\%$), то есть полученные результаты не отягощены грубой ошибкой. Относительное стандартное отклонение не превышает 2,0 %, что свидетельствует о прецизионности методики в условиях повторяемости.

Правильность предложенной методики проверяли методом добавок. Для этого к аликвоте раствора эфирного масла с содержанием анетола 2,14 мкг/мл, принятого за 100 %, добавляли точно известное количество анетола в количестве 25 % (0,53 мкг/мл), 50 % (1,07 мкг/мл) и 75 % (1,60 мкг/мл) (таблица 3). Определение проводили в трех повторностях для каждой концентрации. Как видно из таблицы 3, рассчитанные и найденные значения анетола в эфирном масле с добавками анетола близки, открываемость составила 100,08 %, что позволяет считать предлагаемую методику валидной по показателю «правильность». Относительное стандартное отклонение не превышает 2 %, относительная ошибка среднего – 1 %.

Таблица 1. Оценка линейности аналитической методики

Table 1. Evaluation of the linearity of the analytical methodology

Аликвота, мл Aliquot, ml	Концентрация анетола, мкг/мл Anethole concentration, mcg/ml	Оптическая плотность Optical density
1,4	1,97	0,301
1,6	2,25	0,349
1,8	2,53	0,390
2,0	2,81	0,431
2,2	3,09	0,472
2,4	3,37	0,512
2,6	3,65	0,555

Параметры линейной зависимости
 $y = 0,1494x + 0,0103, r = 0,9994$
 Linear dependence parameters
 $y = 0,1494x + 0,0103, r = 0,9994$

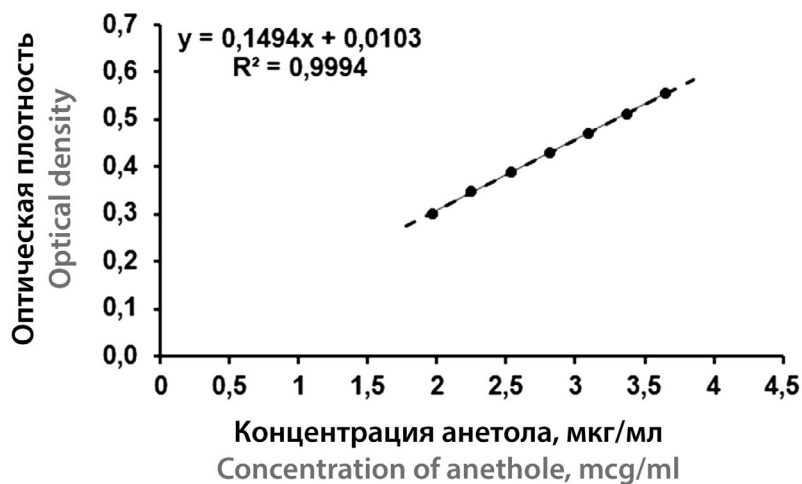


Рисунок 5. График линейной зависимости оптической плотности анетола от его концентрации в измеряемом растворе

Figure 5. Graph of the linear dependence of the optical density of anethole on its concentration in the measured solution

Таблица 2. Определение повторяемости (сходимости) методики количественного определения анетола в эфирном масле фенхеля обыкновенного ($n = 9, P = 95 \%$)

Table 2. Determination of repeatability (convergence) of the method of quantitative determination of anethole in fennel essential oil ($n = 9, P = 95 \%$)

Навеска масла, г Oil sample, g	Найденное значение суммы ароматических соединений, $m_{\text{наг}}, \text{мг/г}$ Sums of aromatic compounds were found, $m_{\text{found}}, \text{mg/g}$	Метрологические характеристики Metrological characteristics
0,0240	445,8	$\bar{x} \pm \Delta \bar{x} = 464,6 \pm 6,9$ $s = 8,9964$ $s^2 = 80,935$ $\text{RSD} = 1,9 \%$ $\bar{\epsilon} = 1,5 \%$
0,0240	458,7	
0,0241	475,0	
0,0300	462,6	
0,0298	462,1	
0,0300	466,1	
0,0360	475,1	
0,0261	469,4	
0,0260	466,9	

В ходе ГЖХ-анализа в образцах эфирного масла плодов фенхеля обыкновенного было обнаружено 14 компонентов (таблица 4). На рисунке 6 представлена хроматограмма эфирного масла плодов фенхеля.

Как видно из таблицы, основными компонентами эфирного масла являются анетол ($48,6 \pm 1,1 \%$) и эстрагол ($38,3 \pm 1,2 \%$). Результаты спектрофотометрического определения суммы ароматических соединений в пересчете на анетол ($46,5 \pm 0,7 \%$) коррелируют с результатами ГЖХ-анализа.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработана спектрофотометрическая методика определения суммы ароматических соединений в пересчете на анетол в эфирном масле плодов фенхеля обыкновенного.
2. Проведена валидационная оценка методики спектрофотометрического определения суммы ароматических соединений в пересчете на анетол в эфирном масле плодов фенхеля обыкновенного. Результаты эксперимента не отягощены систематической ошибкой и можно заключить, что предложенная методика валидна по показателям «специфичность», «линейность» и «аналитическая

Таблица 3. Содержание анетола в растворе эфирного масла фенхеля обыкновенного с добавками анетола ($n = 9, P = 95 \%$)

Table 3. Anethole content in a solution of fennel essential oil with anethole additives ($n = 9, P = 95 \%$)

Содержание анетола в образце, мкг/мл The anethole content in the sample is mcg/ml	Добавлено анетола, мкг/мл Added anethole mcg/ml	Рассчитанное значение суммы анетола в образце, мкг/мл The amount of anethole in the sample is calculated, mcg/ml	Найденное значение суммы анетола, мкг/мл The amount of anethole was found, mcg/ml	Открываемость, % Openness, %	Метрологические характеристики Metrological characteristics
2,14	0,53	2,67	2,71	101,5	$\bar{x} \pm \Delta \bar{x} = 100,08$ $s = 1,028$ $s^2 = 1,057$ $\text{RSD} = 1,0 \%$ $\bar{\epsilon} = 0,8 \%$
			2,67	100,0	
			2,65	99,3	
2,14	1,07	3,21	3,25	101,3	
			3,25	101,3	
			3,19	99,4	
2,14	1,60	3,74	3,72	99,5	
			3,69	98,7	
			3,73	99,7	

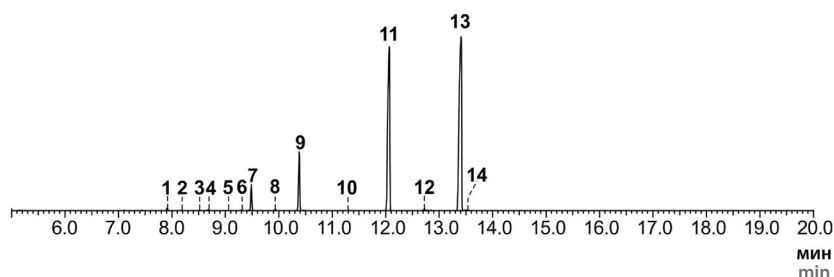


Рисунок 6. Хроматограмма (ГХ-МС) эфирного масла фенхеля

Figure 6. Chromatogram (GC-MS) of fennel essential oil

Таблица 4. Компонентный состав эфирного масла фенхеля по данным ГХ-МС

Table 4. Component composition of fennel essential oil according to GC-MS data

№	RT, мин ¹ RT, min ¹	Название Name	KI _{exp} ²	KI _{lit} ²	C, масс% ³ C, mass% ³	C, масс% ⁴ C, mass% ⁴
1	7,911	α-пинен α-pinene	941	941[14]	0,37 ± 0,08	–
2	8,184	камфен camphene	957	957[14]	0,1 ± 0,03	–
3	8,507	β-пинен β-pinene	976	976[15]	0,04 ± 0,006	–
4	8,685	β-мирцен β-myrcene	985	986[16]	0,15 ± 0,008	–
5	9,054	α-феландрен α-phellandrene	1006	1009[14]	0,05 ± 0,009	–
6	9,307	para-цимен para-cymene	1021	1025[14]	0,13 ± 0,01	–
7	9,485	лимонен limonene	1032	1035[14]	3,13 ± 0,09	–
8	9,933	γ-терпинен γ-terpinene	1058	1058[14]	0,18 ± 0,05	–
9	10,381	фенхон fenchone	1085	1086[17]	8,09 ± 0,8	–
10	11,301	камфора camphor	1141	1141[18]	0,1 ± 0,05	–
11	12,066	эстрагол estragole	1189	1185[19]	37,9 ± 0,9	38,3 ± 1,2
12	12,723	анисовый альдегид anisaldehyde	1232	1229[20]	0,21 ± 0,06	0,18 ± 0,08
13	13,409	анетол anethole	1278	1270[20]	49,4 ± 0,9	48,6 ± 1,1
14	13,537	α-терпинеол α-terpineol	1287	1289[21]	0,05 ± 0,02	–

Примечание. ¹ RT – время удерживания (Retention time).

² K_{exp} и K_{lit} – экспериментальные и литературные значения индекса Ковача (Kovats index).

³ Значения массовых концентраций рассчитаны по данным ГХ-МС по полному ионному току (метод внутренней нормализации).

⁴ Значения массовых концентраций определены по данным ГХ-МС по калибровочной зависимости для стандартных образцов (метод абсолютной калибровки).

Note. ¹ RT – Retention time.

² K_{exp} and K_{lit} – experimental and literature values of the Kovats index.

³ Mass concentration values according to GC-MS data (internal normalization method).

⁴ Mass concentration values according to GC-MS data (absolute calibration method).

область методики», «прецизионность» и «правильность».

3. Результаты спектрофотометрического определения суммы ароматических соединений в пересчете на анетол (46,5 ± 0,7 %) коррелируют с результатами ГЖХ-анализа (48,6 ± 1,1 %).

ЛИТЕРАТУРА

- Буракба С., Марахова А. И., Станишевский Я. М., Василенко И. А., Жилкина В. Ю. Изучение потенциала фенхеля обыкновенного (*Foeniculum vulgare* Mill.) как ценного лекарственного растения (обзор). *Разработка и регистрация лекарственных средств.* 2024;13(2):59-67. DOI: 10.33380/2305-2066-2024-13-2-1617.
- Annahazi A., Kuch B., Ridzal L., Mansouri N., Hosni I., Schemann M. Fennel Tea Has a Region-Specific Effect on the Motility of the Stomach. *Neurogastroenterology & Motility.* 2025;37(12):e70201. DOI: 10.1111/nmo.70201.
- Budriesi R., Corazza I., Roncioni S., Scanferlato R., De Luca D., Marzetti C., Gotti R., Rizzardi N., Bergamini C., Micucci M., Roncarati D., Mattioli L. B. Herbal Extracts Mixed with Essential Oils: A Network Approach for Gastric and Intestinal Motility Disorders. *Nutrients.* 2024;16(24):4357. DOI: 10.3390/nu16244357.
- Золотилова Е. В., Золотилова О. М. Изучение компонентного состава эфирного масла *Foeniculum vulgare* Mill. выращенного в Предгорье Крыма. В сб.: Пути и формы совершенствования фармацевтического образования. Актуальные вопросы разработки и исследования но-

- вых лекарственных средств. Сборник трудов 9-й Международной научно-методической конференции «Фармаобразование-2023». Посвящается 25-летию создания фармацевтического факультета в Воронежском государственном университете. 28–29 сентября 2023. Воронеж: Воронежский государственный университет; 2023. С. 257–262. DOI: 10.17308/978-5-9273-3827-6-2023-257-262.
5. Kalleli F., Bettaieb Rebey I., Wannas W. A., Boughalleb F., Hammami M., Saidani Tounsi M., M'hamdi M. Chemical composition and antioxidant potential of essential oil and methanol extract from Tunisian and French fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) seeds. *Journal of Food Biochemistry*. 2019;43(8):e12935. DOI: 10.1111/jfbc.12935.
 6. Wal A., Gupta D., Gasmi A., Khan A., Ashesh A. M., Kumar A., Kumar D. Unveiling the chemical composition, bioactive properties, and potential applications of fennel essential oil. *South African Journal of Botany*. 2025;185:617–630. DOI: 10.1016/j.sajb.2025.08.020.
 7. Saxena S. N., Kakani R. K., Rator S. S., Meena, R. S., Vishal M. K., Sharma L. K., Agrawal D., John S., Panwar A., Singh B. Genetic Variation in Essential Oil Constituents of Fennel (*Foeniculum vulgare* Mill) Germplasm. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*. 2016;19(4):989–999. DOI: 10.1080/0972060X.2016.1191378.
 8. Ahmed A. F., Shi M., Liu C., Kang W. Comparative analysis of antioxidant activities of essential oils and extracts of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) seeds from Egypt and China. *Food Science and Human Wellness*. 2019;8(1):67–72. DOI: 10.1016/j.fshw.2019.03.004.
 9. Abdellaoui M., Bouhlali E. D. T., Derouich M., El-Rhaffari L. Essential oil and chemical composition of wild and cultivated fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.): A comparative study. *South African Journal of Botany*. 2020;135:93–100. DOI: 10.1016/j.sajb.2020.09.004.
 10. Булаев В. М., Ших Е. В., Сычев А. А. Безопасность и эффективность лекарственных растений. М.: Практическая медицина; 2013. 30 с.
 11. Шефер Е. П., Антонова Н. П., Моргунов И. М., Прохвятилова С. С., Зотова М. С. Способ определения компонентов эфирных масел в плодах аниса и фенхеля методом тонкослойной хроматографии. *Ведомости Научного центра экспертизы средств медицинского применения. Регуляторные исследования и экспертиза лекарственных средств*. 2023;13(3):419–425. DOI: 10.30895/1991-2919-2023-545.
 12. Самылина И. А., Баева В. М., Кузнецов Р. М. Совершенствование требований к качеству лекарственного растительного сырья плоды тмина, фенхеля и аниса обыкновенного. *Разработка и регистрация лекарственных средств*. 2017;(3):134–143.
 13. Рязанова Т. К., Куркин В. А. Актуальные вопросы стандартизации лекарственного растительного сырья и фармацевтических субстанций растительного происхождения, содержащих эфирные масла. *Ведомости Научного центра экспертизы средств медицинского применения. Регуляторные исследования и экспертиза лекарственных средств*. 2023;13(2):146–153. DOI: 10.30895/1991-2919-2023-495.
 14. Chung T. Y., Eiserich J. P., Shibamoto T. Volatile Compounds Identified in Headspace Samples of Peanut Oil Heated under Temperatures Ranging from 50 to 200. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 1993;41(10):1693–1697. DOI: 10.1021/jf00034a033.
 15. Rao B. R. R. Biomass yield, essential oil yield and essential oil composition of rose-scented geranium (*Pelargonium* species) as influenced by row spacings and intercropping with coriander (*Mentha arvensis* L. f. *piperascens* Malinv. ex Holmes). *Industrial Crops and Products*. 2002;16(2):133–144. DOI: 10.1016/S0926-6690(02)00038-9.
 16. Chisholm M. G., Wilson M. A., Gaskey G. M. Characterization of aroma volatiles in key lime essential oils (*Citrus aurantifolia* Swingle). *Flavour and Fragrance Journal*. 2003;18(2):106–115. DOI: 10.1002/ffj.1172.
 17. Stashenko E. E., Cervantes M., Combariza Y., Fuentes H., Martínez J. R. HRGC/FID and HRGC/MSD Analysis of the Secondary Metabolites Obtained by Different Extraction Methods from *Lepechinia schiedeana*, and in Vitro Evaluation of Its Antioxidant Activity. *Journal of High Resolution Chromatography*. 1999;22(6):343–349. DOI: 10.1002/(SICI)1521-4168(19990601)22:6<343::AID-JHRC343>3.0.CO;2-J.
 18. Shatar S. Essential oil of *Ferula ferulaoides* from western Mongolia. *Chemistry of Natural Compounds*. 2005;41(5):607–608. DOI: 10.1007/s10600-005-0222-8.
 19. Mallavarapu G. R., Rajeswara Rao B. R., Kaul P. N., Ramesh S., Bhattacharya A. K. Volatile constituents of the essential oils of the seeds and the herb of palmarosa (*Cymbopogon martinii* (Roxb.) Wats. var. *motia* Burk.). *Flavour and Fragrance Journal*. 1998;13(3):167–169. DOI: 10.1002/(SICI)1099-1026(199805/06)13:3<167::AID-FFJ19>3.0.CO;2-B.
 20. Stashenko E. E., Martinez C. R., Martinez J. R., Shibamoto T. Catalytic Transformation of Anise (*Pimpinella alzisum* L.) Oil over Zeolite Y. *Journal of High Resolution Chromatography*. 1995;18(8):501–503. DOI: 10.1002/jhrc.1240180810.
 21. Adedeji J., Hartman T. G., Rosen R. T., Ho C. T. Free and Glycosidically Bound Aroma Compounds in Hog Plum (*Spondias mombins* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 1991;39(8):1494–1497. DOI: 10.1021/jf00008a025.

REFERENCES

1. Bourakba S., Marakhova A. I., Stanishvskiy Ya. M., Vasilenko I. A., Zhilkina V. Y. Exploring the potential of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) as a valuable medicinal plant: a comprehensive (review). *Drug development & registration*. 2024;13(2):59–67. (In Russ.) DOI: 10.33380/2305-2066-2024-13-2-1617.
2. Annahazi A., Kuch B., Ridzal L., Mansouri N., Hosni I., Schemann M. Fennel Tea Has a Region-Specific Effect on the Motility of the Stomach. *Neurogastroenterology & Motility*. 2025;37(12):e70201. DOI: 10.1111/nmo.70201.
3. Budriesi R., Corazza I., Roncioni S., Scanferlato R., De Luca D., Marzetti C., Gotti R., Rizzardi N., Bergamini C., Micucci M., Roncarati D., Mattioli L. B. Herbal Extracts Mixed with Essential Oils: A Network Approach for Gastric and Intestinal Motility Disorders. *Nutrients*. 2024;16(24):4357. DOI: 10.3390/nu16244357.
4. Zolotylova E. V., Zolototilova O. M. Study of the component composition of *Foeniculum vulgare* Mill. essential oil grown in the Foothills of Crimea. In: Ways and forms of improving pharmaceutical education. Current issues of development and research of new medicines. Proceedings of the 9th International Scientific and Methodological Conference "Pharmaceutical Education-2023". Dedicated to the 25th anniversary of the establishment of the Facul-

- ty of Pharmacy at Voronezh State University. September 28–29, 2023. Voronezh: Voronezh State University; 2023. P. 257–262. (In Russ.)
5. Kalleli F., Bettaieb Rebey I., Wannes W. A., Boughalleb F., Hammami M., Saidani Tounsi M., M'hamdi M. Chemical composition and antioxidant potential of essential oil and methanol extract from Tunisian and French fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) seeds. *Journal of Food Biochemistry*. 2019;43(8):e12935. DOI: 10.1111/jfbc.12935.
 6. Wal A., Gupta D., Gasmi A., Khan A., Ashesh A. M., Kumar A., Kumar D. Unveiling the chemical composition, bioactive properties, and potential applications of fennel essential oil. *South African Journal of Botany*. 2025;185:617–630. DOI: 10.1016/j.sajb.2025.08.020.
 7. Saxena S. N., Kakani R. K., Rator S. S., Meena, R. S., Vishal M. K., Sharma L. K., Agrawal D., John S., Panwar A., Singh B. Genetic Variation in Essential Oil Constituents of Fennel (*Foeniculum vulgare* Mill) Germplasm. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*. 2016;19(4):989–999. DOI: 10.1080/0972060X.2016.1191378.
 8. Ahmed A. F., Shi M., Liu C., Kang W. Comparative analysis of antioxidant activities of essential oils and extracts of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) seeds from Egypt and China. *Food Science and Human Wellness*. 2019;8(1):67–72. DOI: 10.1016/j.fshw.2019.03.004.
 9. Abdellaoui M., Bouhlali E. D. T., Derouich M., El-Rhaffari L. Essential oil and chemical composition of wild and cultivated fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.): A comparative study. *South African Journal of Botany*. 2020;135:93–100. DOI: 10.1016/j.sajb.2020.09.004.
 10. Bulaev V. M., Shikh E. V., Sychev A. A. Safety and effectiveness of medicinal plants. Moscow: Prakticheskaya meditsina; 2013. P. 30. (In Russ.)
 11. Shefer E. P., Antonova N. P., Morgunov I. M., Prokhvatilova S. S., Zotova M. S. A Thin-Layer Chromatography Method for the Determination of Essential Oil Components in Anise and Fennel Fruits. *Bulletin of the Scientific Centre for Expert Evaluation of Medicinal Products. Regulatory Research and Medicine Evaluation*. 2023;13(3):419–425. (In Russ.) DOI: 10.30895/1991-2919-2023-545.
 12. Samylina I. A., Baeva V. M., Kuznetsov R. M. Improvement of quality requirements for crude herbal drugs of fructus carvi, fructus foeniculi and fructus anisi vulgaris. *Drug development & registration*. 2017;(3):134–143. (In Russ.)
 13. Ryazanova T. K., Kurkin V. A. Relevant Issues of Standardisation of Herbal Drugs and Herbal Drug Preparations Containing Essential Oils. *Bulletin of the Scientific Centre for Expert Evaluation of Medicinal Products. Regulatory Research and Medicine Evaluation*. 2023;13(2):146–153. (In Russ.) DOI: 10.30895/1991-2919-2023-495.
 14. Chung T. Y., Eiserich J. P., Shibamoto T. Volatile Compounds Identified in Headspace Samples of Peanut Oil Heated under Temperatures Ranging from 50 to 200. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 1993;41(10):1693–1697. DOI: 10.1021/jf00034a033.
 15. Rao B. R. R. Biomass yield, essential oil yield and essential oil composition of rose-scented geranium (*Pelargonium* species) as influenced by row spacings and intercropping with commint (*Mentha arvensis* L.f. *piperascens* Malinv. ex Holmes). *Industrial Crops and Products*. 2002;16(2):133–144. DOI: 10.1016/S0926-6690(02)00038-9.
 16. Chisholm M. G., Wilson M. A., Gaskey G. M. Characterization of aroma volatiles in key lime essential oils (*Citrus aurantifolia* Swingle). *Flavour and Fragrance Journal*. 2003;18(2):106–115. DOI: 10.1002/ffj.1172.
 17. Stashenko E. E., Cervantes M., Combariza Y., Fuentes H., Martínez J. R. HRGC/FID and HRGC/MSD Analysis of the Secondary Metabolites Obtained by Different Extraction Methods from *Lepechinia schiedeana*, and in Vitro Evaluation of Its Antioxidant Activity. *Journal of High Resolution Chromatography*. 1999;22(6):343–349. DOI: 10.1002/(SICI)1521-4168(19990601)22:6<343::AID-JHRC343>3.0.CO;2-J.
 18. Shatar S. Essential oil of *Ferula ferulaoides* from western Mongolia. *Chemistry of Natural Compounds*. 2005;41(5):607–608. DOI: 10.1007/s10600-005-0222-8.
 19. Mallavarapu G. R., Rajeswara Rao B. R., Kaul P. N., Ramesh S., Bhattacharya A. K. Volatile constituents of the essential oils of the seeds and the herb of palmarosa (*Cymbopogon martinii* (Roxb.) Wats. var. *motia* Burk.). *Flavour and Fragrance Journal*. 1998;13(3):167–169. DOI: 10.1002/(SICI)1099-1026(199805/06)13:3<167::AID-FFJ719>3.0.CO;2-B.
 20. Stashenko E. E., Martinez C. R., Martinez J. R., Shibamoto T. Catalytic Transformation of Anise (*Pimpinella alzisum* L.) Oil over Zeolite Y. *Journal of High Resolution Chromatography*. 1995;18(8):501–503. DOI: 10.1002/jhrc.1240180810.
 21. Adedeji J., Hartman T. G., Rosen R. T., Ho C. T. Free and Glycosidically Bound Aroma Compounds in Hog Plum (*Spondias mombins* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 1991;39(8):1494–1497. DOI: 10.1021/jf00008a025.