

Сравнительная характеристика методов отгонки эфирного масла лаванды с применением обработки слабotoчным искровым разрядом

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет», г. Краснодар, Российская Федерация

А.Г. Шерстюков, И.А. Шорсткий, Д.А. Худяков

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Андрей Геннадьевич Шерстюков
E-mail: sherstyukov86@inbox.ru

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Шерстюков, А.Г., Шорсткий, И.А., & Худяков, Д.А. (2025). Сравнительная характеристика методов отгонки эфирного масла из соцветий лаванды с применением предварительной обработки слабotoчным искровым разрядом. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 33(3), 67-81. <https://doi.org/10.36107/spfp.2025.3.665>

ПОСТУПИЛА: 12.03.2025

ПРИНЯТА: 15.09.2025

ОПУБЛИКОВАНА: 30.09.2025

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-29-00205, <https://rscf.ru/project/25-29-00205>.



АННОТАЦИЯ

Введение: Интенсивность и глубина экстрагирования эфирномасличного сырья, а также химический состав эфирных масел определяют эффективность работы отрасли. При этом, несмотря на развитие ультразвуковых, микроволновых и других электрофизических методов интенсификации, влияние предварительной обработки эфирномасличного сырья слабotoчным искровым разрядом на процессы перегонки изучено недостаточно и ограничивается единичными работами, не рассматривающими соцветия лаванды и не сопоставляющими различные методы водной экстракции. Пробел в существующих исследованиях связан с отсутствием данных о том, как слабotoчный искровой разряд влияет на кинетику отгонки, микроструктуру внутренних тканей соцветий лаванды и качество получаемого эфирного масла при гидродистилляции и перегонке в токе водяного пара. Новизна настоящего исследования заключается в экспериментальном обосновании применения предварительной электрофизической подготовки слабotoчным искровым разрядом в качестве стадии подготовки лавандового сырья с комплексной оценкой выхода, скорости экстрагирования и качества эфирного масла.

Цель: Исследовать эффективность методов водной экстракции эфирного масла из соцветий лаванды с применением обработки слабotoчным искровым разрядом на стадии подготовки сырья. Оценить кинетику экстрагирования, микроструктурные изменения перерабатываемого сырья и качество получаемого эфирного масла.

Материалы и методы: Реализован сравнительный анализ методов отгонки — водяной и паровой дистилляцией — для извлечения эфирного масла из соцветий лаванды с применением предварительной электрофизической обработки сырья. В качестве предварительной электрофизической обработки использовались слабotoчный искровой разряд. Параметры электрофизической обработки подбирались из условия отсутствия локального перегрева материала более чем на 3°C. Компонентный состав эфирного масла лаванды определяли методом газовой хроматографии. Анализ микроструктурных изменений эфирномасличного сырья определяли методом электронной сканирующей микроскопии.

Результаты: При экстракции эфирного масла из соцветий лаванды максимальный выход наблюдался при использовании гонки током прямого пара с предварительной обработкой слабotoчным искровым разрядом. Воздействие слабotoчным искровым разрядом способствует более глубокому извлечению масла из соцветий лаванды, при этом концентрация основного компонента — линалоола — увеличивается с 51,7% до 53%. Представлены фотографии микроструктуры внутренних эфирномасличных вместилищ соцветий лаванды, модифицированных при электрофизической обработке.

Выводы: Сочетание предварительной электрофизической обработки слабotoчным искровым разрядом с паровой и водной дистилляцией позволяет снизить время экстракции, увеличить выход целевого компонента и сохранить высокое качество получаемого эфирного масла. Полученные результаты могут быть использованы при модернизации существующих и разработке новых энергоэффективных технологий получения эфирных масел на предприятиях пищевой, парфюмерно-косметической и фармацевтической промышленности, а также в малотоннажных производствах.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

экстракция; соцветие лаванды; эфирное масло; слабotoчный искровой разряд; сравнение; паровая дистилляция

Comparative Characterisation of Lavender Essential Oil Distillation Methods Using Low-Current Spark Discharge Pretreatment

Kuban State Technological University,
Krasnodar, Russian Federation

Andrey G. Sherstyukov, Ivan A. Shorstkiy, Dmitry A. Khudyakov

CORRESPONDENCE:

Andrey G. Sherstyukov

E-mail: sherstyukov86@inbox.ru

FOR CITATIONS:

Sherstyukov, A.G., Shorstkiy, I.A., & Khudyakov, D.A. (2025). Comparative characterisation of lavender essential oil distillation methods using low-current spark discharge pretreatment. *Storage and Processing of Farm Products*, 33(3), 67-81. <https://doi.org/10.36107/spfp.2025.3.665>

RECEIVED: 12.03.2025

ACCEPTED: 15.09.2025

PUBLISHED: 30.09.2025

DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.

FUNDING

This work was supported by the Russian Science Foundation № 25-29-00205, <https://rscf.ru/project/25-29-00205>.



ABSTRACT

Introduction: The intensity and depth of extraction from essential-oil-bearing plant materials, as well as the chemical composition of the resulting essential oils, determine overall process efficiency in the sector. Despite advances in ultrasound-, microwave-, and other electrophysical intensification techniques, the effect of low-current spark discharge pretreatment of essential-oil raw materials on distillation processes remains insufficiently studied. Existing evidence is limited to isolated studies that neither address lavender inflorescences nor compare different water-based extraction (distillation) methods. The current research gap concerns the lack of data on how low-current spark discharge influences distillation kinetics, the microstructure of internal tissues in lavender inflorescences, and the quality of the essential oil obtained via hydrodistillation and steam distillation. The novelty of this study lies in experimentally substantiating low-current spark discharge pretreatment as a preparatory stage for lavender raw material, accompanied by an integrated assessment of yield, extraction rate, and essential-oil quality.

Purpose: To investigate the effectiveness of water based methods for extracting essential oil from lavender inflorescences when low current spark discharge treatment is applied at the raw material preparation stage. To assess extraction kinetics, microstructural changes in the processed material, and the quality of the resulting essential oil.

Materials and Methods: A comparative analysis of distillation methods was conducted to extract essential oil from lavender inflorescences with preliminary electrophysical treatment of the raw material. Low-current spark discharge was used as the pretreatment modality. Treatment parameters were selected to ensure that local overheating of the material did not exceed 3 °C. The component composition of lavender essential oil was determined by gas chromatography. Microstructural changes in the essential-oil-bearing raw material were examined using scanning electron microscopy.

Results: In extracting essential oil from lavender inflorescences, the maximum yield was observed for direct steam distillation combined with low-current spark discharge pretreatment. Low-current spark discharge promoted deeper oil recovery from lavender inflorescences, while the concentration of the principal component, linalool, increased from 51.7% to 53.0%. Micrographs are presented showing the microstructure of internal essential-oil reservoirs in lavender inflorescences, modified as a result of electrophysical treatment.

Conclusion: Combining low-current spark discharge pretreatment with steam and water distillation reduces extraction time, increases the yield of the target product, and maintains high essential-oil quality. The findings may be applied to modernise existing and develop new energy-efficient technologies for essential oil production in the food, perfumery and cosmetics, and pharmaceutical industries, as well as in small-scale manufacturing.

KEYWORDS

extraction; lavender inflorescences; essential oil; low-current spark discharge; comparison; steam distillation

ВВЕДЕНИЕ

Обеспечение населения и предприятий безопасными и качественными экстрактами сегодня представляет технологически сложную задачу (Hadri, 2023). Метод перегонки с водяным паром позволяет получать высококачественные экстракты, и его совершенствование определяет эффективность работы отрасли (Chakravarty, 2021). По официальным данным Министерства энергетики Российской Федерации, высокий уровень энергоемкости эфиромасличного производства является актуальной проблемой, существенно ограничивающей конкурентоспособность отечественной экономики (Невкрытая, 2019).

Существуют многочисленные механизмы интенсификации процессов перегонки и экстракции, применяющие традиционные и зеленые технологии экстрагирования веществ из материалов растительного происхождения (Picot-Allain, 2021), а также современные электрофизические технологии подготовки растительного сырья (Шорсткий, 2015; Shorstkii, 2019a). Для извлечения активных компонентов и эфирных масел из структуры эфиромасличного сырья обычно используется процесс экстрагирования с использованием растворителей или методы отгонки с водяным паром. На сегодняшний день пищевая промышленность использует данные методы и сосредотачивается на том, чтобы извлекать эфирное масло и сопутствующие компоненты из лекарственного сырья (Durek, 2022), лепестков розы (Katekar, 2022), кожицы апельсинов (Razola-Díaz, 2021), базилика (Silva, 2022) и т. п.

Эффективность экстракции или отгонки может быть увеличена, используя физические методы воздействия, такие как ультразвуковая подготовка (Chen, 2021; Бурак, 2024), микроволновая обработка при экстракции (Абашкин, 2021; Yingngam, 2021; Shorstkii, 2019b), подготовка с помощью импульсного электрического поля (Ferraz, 2025; Miloudi, 2018) и электрогидроудар при экстрагировании (Gavahian, 2015). Представленные методы интенсификации создают уникальные преимущества и особенности, необходимые для увеличения глубины и скорости извлечения. Широкого применения представленные методы не получили в связи с проблемами масштабирования, требованиями по наличию жидкой проводящей среды при обработке и наличия локальных тепловых перегревов. Среди

представленных методов электрофизическая подготовка искровым разрядом представляется перспективным направлением совершенствования процесса экстрагирования эфирномасличного сырья (Rezaei, 2021). Данный метод может быть адаптирован к промышленным процессам, обладает низким удельным энергопотреблением и сохраняет высокие показатели качества продукции, в сравнении с другими электрофизическими технологиями (Shorstkii, 2019c). При этом применительно к эфирномасличному сырью в литературе представлено лишь небольшое количество работ. Авторы (Rezaei, 2021) применяли электрообработку низкотемпературной плазмой для гидродистилляции фенхеля обыкновенного и мяты. При использовании высокого напряжения в установке на уровне 19 кВ был получен выход эфирного масла 1,83% для фенхеля и 1,81% для мяты. Авторами также отмечена перспектива использования электрофизической обработки для объектов, у которых эфирное масло находится во внутренних вместилищах тканей сырья. Внедрение физических методов в процессы извлечения эфирного масла из лекарственного сырья описано в работе (Gavahian, 2020). При воздействии низкотемпературной плазмы на листья Алоизии трехлистной перед этапами паровой дистилляции выход эфирных масел увеличился на 0,4%. Стоит отметить, что представленные работы используют электрофизическую обработку, воздействующую лишь на поверхностную структуру растительного сырья, что ограничивает возможности влияния на внутренние вместилища эфирномасличного сырья. Рассматриваемая в данном проекте электрофизическая обработка представляет собой вид слаботокового искрового разряда, способного проникать через всю структуру материала, формируя дополнительные капилляры и воздействуя на анатомическую целостность мембран растительных клеток.

Целью данной работы было исследование эффективности различных методов экстракции эфирного масла из соцветий лаванды с применением обработки слаботоковым искровым разрядом на стадии подготовки, а также оценка кинетики экстрагирования, микроструктурных изменений сырья и качества получаемого эфирного масла.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Подготовка материалов и образцов

В качестве эфирномасличного сырья были использованы соцветия лаванды (*Lavandula angustifolia*) урожая 2024 г. Начальное содержание влаги в соцветиях составляло $11,2 \pm 0,4\%$, определение выполнено с помощью анализатора влажности «Эвлас-2М» («Сибагроприбор», Россия). План эксперимента представлен на Рисунке 1. Соцветия лаванды направляли в экстрактор в массовом соотношении 1 : 10. Перед экстракцией часть образцов лаванды извлекали, подвергали обработке слаботочным искровым разрядом и возвращали в экстрактор. После этого проводили экстрагирование и анализировали показатели качества полученного эфирного масла. Всего было получено 4 образца эфирного масла.

Экспериментальная установка по обработке слаботочным искровым разрядом

Обработку слаботочным искровым разрядом проводили на установке стационарного типа, в которой образец размещался на лотке из нержавеющей стали. В зазоре между подвижным катодом и лотком размещали навеску соцветий лаванды в количестве 50 г. На анод подавалось напряжение 15 кВ, в межэлектродном пространстве осуществлялось формирование слаботочного искрового разряда при поддержке термоэлектронной эмиссии (Шор-

сткий, 2019). Катод приводился в движение для обработки всей площади навески. Обработка проводилась в течение 1 мин. Ток разряда и напряжение регистрировались с помощью осциллографа Tektronix DPO 2004B и высоковольтного делителя $\times 1000$. После обработки эфиромасличное сырье направлялось на стадию экстрагирования.

Энергетические аспекты обработки слаботочным искровым разрядом

Удельное потребление энергии было рассчитано следующим образом:

$$W_{уд} = \frac{W_{\text{Э}} + W_{\text{ИР}}}{\text{ЭМ}}, \quad (1)$$

где $W_{\text{Э}}$ — энергопотребление экстрактора, кВт/ч; $W_{\text{ИР}}$ — энергопотребление слаботочным искровым разрядом, кВт/ч; ЭМ — массовая доля эфирного масла в пересчете на сырой вес.

Значения $W_{\text{Э}}$ были получены с помощью измерителя мощности во время экспериментов. Значение $W_{\text{ИР}}$ определяли по вольт-амперной характеристике, с помощью уравнения (2):

$$W_{\text{ИР}} = n \cdot \int U(t) \cdot I(t) \cdot dt, \quad (2)$$

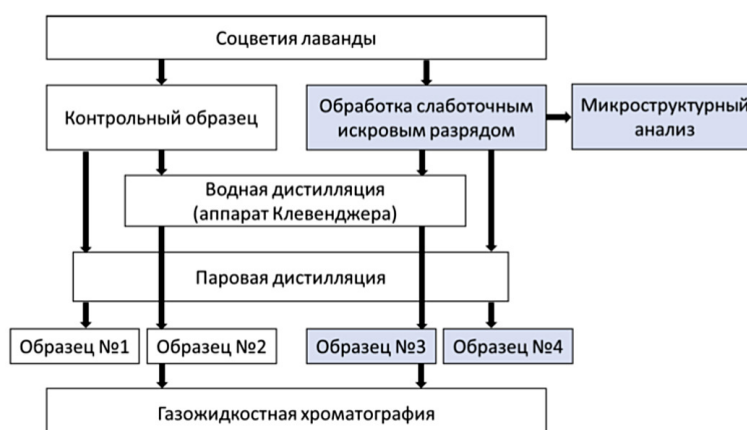
где n — количество импульсов; $U(t)$ — мгновенные напряжения на электродах; $I(t)$ — ток разряда, проходящий через образец.

Рисунок 1

Схема проведения испытаний и анализа полученных образцов

Figure 1

The Scheme of Testing and Analysis of the Obtained Samples



Отгонка эфирного масла

Для проведения отгонки эфирного масла из соцветий лаванды использовали водную и паровую дистилляцию. Процесс водной дистилляции проводили в приборе Клевенджера с круглодонной колбой вместимостью 1000 мл. Оценку кинетики процесса осуществляли путем замера эфирного масла в градуированной бюретке с краном для слива. Скорость дистиллята составляла 60 капель в минуту. Подготовку аппарата осуществляли в соответствии с методикой¹. Массовую долю эфирного масла в пересчете на сырой вес определяли по формуле:

$$ЭМ = \frac{V \cdot \rho \cdot 100}{M_{\text{сырья}}}, \quad (3)$$

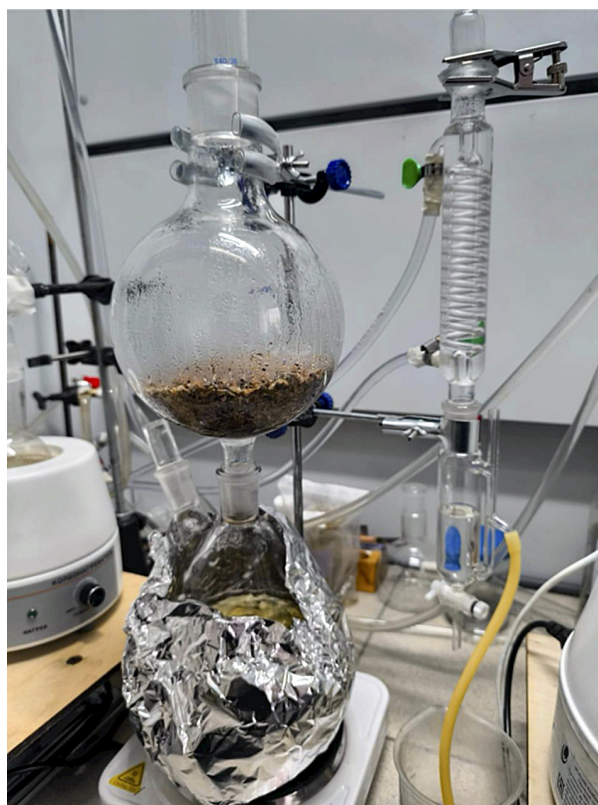
где V — объем декантированного масла, см^3 ; ρ — плотность эфирного масла, $\text{г}/\text{см}^3$; $M_{\text{сырья}}$ — масса навески, г.

Рисунок 2

Установка получения эфирных масел в токе водяного пара

Figure 2

Steam Distillation Equipment for Essential Oils Extraction



Процесс паровой дистилляции проводили на лабораторной установке получения эфирных масел перегонкой в токе водяного пара (Рисунок 2).

Продолжительность перегонки 120 мин, Кинетику экстрагирования эфирного масла водной и паровой дистилляцией оценивали с помощью катетометра.

Оценка показателей качества эфирного масла

Компонентный состав эфирных масел определяли с помощью аппаратно-программного комплекса на базе хроматографа «Хроматэк-Кристалл 5000», оснащенного масс-спектрометрическим детектором (Тарасов, 2013). Капиллярная колонка CR — 5 мс, внутренний диаметр $30 \text{ м} \times 0,25 \text{ мм}$. Фаза 5% фенил-95% полисилфениленсилоксан, толщина пленки — 0,25 мкм. Температура термостата была установлена в диапазоне от 75°C до 240°C со скоростью изменения $4^\circ\text{C}/\text{мин}$. Температура испарителя составляла 250°C . Газ-носитель — гелий, скорость потока — 1 мл/мин. Температура линии переноса масс-спектрометра составляла 250°C . Температура источника ионов — 200°C . Энергия ионизации — 70 эВ. Структура каждого состава была определена путем сравнения их масс. Идентификацию компонентов проводили по временам удерживания неподвижной жидкой фазой с использованием информационной базы прибора. Отбор проб выполнен в соответствии с ГОСТ 14618.0–78.

Физико-химические показатели масла оценивали по параметру pH с помощью pH-метра («Анион 4100», Россия), а также по показателям плотности и цвета масла.

Микроструктурный анализ

Оценку микроструктуры внутренних тканей и поверхности соцветий лаванды проводили с использованием сканирующего электронного микроскопа *EVO HD 15* (Zeiss, Великобритания/Германия). Режимы измерения: энергия светового пучка — 10 кэВ, приближение — $\times 30$ – $\times 100$. Для анализа использовали соцветия лаванды, которые после об-

¹ Турышева, Н. А., Тарасов, В. Е., & Петрова, Т. В. (2012). *Фармакогнозия и товароведение эфирномасличного и лекарственного сырья*. Издательство КубГАУ.

работки слаботоковым искровым разрядом были заморожены в шоковой заморозке при температуре -35°C и подвергнуты вакуумной сублимационной сушке для удаления влаги.

Статистический анализ

Представленные эксперименты осуществляли с трехкратной повторностью. Показатели представлены как среднее значение \pm стандартное отклонение. Оценку достоверности различий между исследуемыми параметрами проводили в среде Design Expert, при $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Влияние обработки искровым разрядом на микроструктуру соцветий лаванды

Эфирное масло в лаванде содержится в основном во внешних вместилищах — волосках с одной и двухклеточной головкой на одно- и двухклеточной ножке. На Рисунке 3 представлена микроструктура поверхности волосков соцветия лаванды и глобула эфирного масла. Размер глобулы порядка 45 мкм. При экстрагировании данная глобула эфирного масла отгоняется растворителем или паром.

При обработке искровым слаботоковым разрядом важную роль имеет воздействие на внутренние ткани сырья, в которых присутствует трудноизвлекаемое эфирное масло. На Рисунке 3 представлена внутренняя структура тканей соцветий лаванды. На Рисунке 3 а представлен поперечный разрез соцветия и выбранный участок с большим увеличением. На срезе заметны кратеры и каналы, которые, вероятно, возникли под воздействием искрового разряда. При обработке поток заряженных частиц искрового разряда проходит через структуру материала, вызывая электропорацию мембран растительных клеток. Для верификации данного заключения будет выполнен анализ эффективности экстракции.

Сравнительный анализ методов отгонки эфирного масла из соцветий лаванды

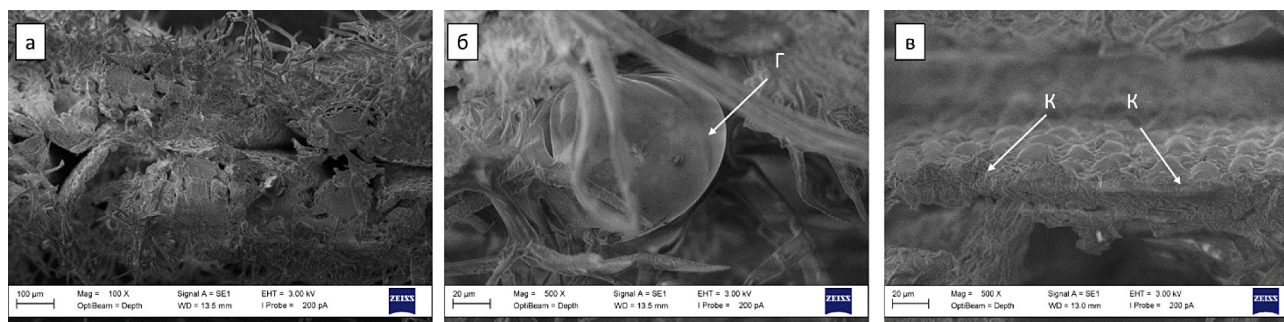
На Рисунке 4 представлены данные кинетики выхода эфирного масла в течение 120 мин при паровой и водной дистилляции. Результаты показали, что выход при паровой гонке дает лучший результат по количественному выходу масла в течение 120 мин. Обработанные слаботоковым искровым разрядом образцы демонстрировали более резкий рост выхода масла в течение первых 30 мин с последующим выходом на плато по сравнению с контрольным образцом. При этом итоговый выход эфирного масла из соцветий лаванды при паровой и водяной дистилляции был выше на 8–10%.

Рисунок 3

Микроструктура соцветия лаванды

Figure 3

Microstructure of Lavender Inflorescence



Примечание. Поперечный срез (а), поверхность волосков соцветия лаванды и глобула эфирного масла (б) и внутренние ткани сырья (в): Г — глобула эфирного масла; К — канал от обработки слаботоковым искровым разрядом

Note. Cross-section (a), the surface of the lavender flower, essential oil globule (b) and the internal tissues of the raw material (c): G — the essential oil globule; K — the channel from low-current spark discharge treatment

Некоторые авторы в смежной области исследований, показали, что выход эфирного масла из соцветий лаванды составляет 2,13% (Slimani, 2022), 1,5% (Elharas, 2013) и 2,2% (Работягов, 2017). Столь значимая разница в количестве эфирного масла может быть связана с сортностью, географическими особенностями, климатическими условиями и другими факторами. Сравнительный анализ кривых выхода эфирного масла без и с применением предварительной обработки искровым разрядом показывает, что скорость отгонки увеличивается при наличии обработки. Более интенсивный массоперенос можно объяснить снижением барьеров для выхода масла из внутренних тканей соцветий лаванды на поверхность. Вероятно, существует предел интенсивности обработки, после превышения которого скорости отгонки масла не будет увеличиваться.

Прирост выхода эфирного масла для различных методов отгонки составил от 0,02% до 0,09%, что позволит провести процесс более эффективно за счет применения предварительной обработки слаботочным искровым разрядом. При этом стоит упомянуть, что в отличие от представленных ранее электрофизических методов подготовки сырья предлагаемый метод имеет сопоставимый результат прироста выхода эфирного масла (Miloudi, 2018).

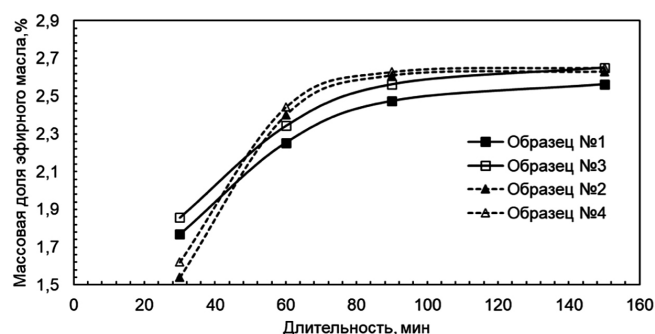
Используя уравнение (2), осциллограмму тока и напряжения, было рассчитано значение $W_{ИР}$, при этом удельное потребление энергии для соцветий лаванды составило $W_{уд} = 0,8$ кВт/л. При масштабировании данной технологии до промышленных масштабов

Рисунок 4

Кривая кинетики выхода эфирного масла при гидроdistилляции и паровой distилляции

Figure 4

The Curve of the Kinetics of the Release of Essential Oil during Hydrodistillation and Steam Distillation



на примере аппарата ёмкостью 10 м³ потребление энергии составит 16 кВт за цикл экстракции, а прирост эфирного масла за сопоставимый временной интервал — 5,4 л.

Влияние обработки слаботочным искровым разрядом на качество получаемого эфирного масла

Для анализа влияния электрофизической обработки на показатели качества эфирного масла был выбран образец, полученный методом гидроdistилляции. Результаты изменения показателей качества для образцов представлены в Таблице 1.

Таблица 1

Физико-химические показатели эфирного масла лаванды

Table 1

Physico-Chemical Parameters of Lavender Essential Oil

Параметр	Без обработки (образец № 2)	С применением обработки искровым разрядом (образец № 3)
Внешний вид	Прозрачная жидкость	Прозрачная жидкость
Цвет	Светло-желтый	Светло-желтый
Ph	4,76 ± 0,144	4,82 ± 0,103
Плотность при 20 °С	0,88	0,876

Влияние обработки на химический состав эфирного масла

Количественное определение терпенов методом газожидкостной хроматографии, обладающих значительной летучестью и входящих в состав эфирных масел, представлено в Таблице 2. Качество эфирного масла, которое используется для парфюмерных целей, определяется высоким содержанием монотерпеновых спиртов и сложных эфиров. Основными компонентами лавандового эфирного масла, полученного методом классической гидроdistилляции, являются: линалоол (51,7%), линаилацетат (15,2%), терпинеол-4 (4,09%), лавандуллол (3,28%) и борнеол (1,19%). После обработки слаботочным искровым разрядом распределение основных компонентов изменилось следующим образом: линалоол (53%), линаилацетат (15,2%), терпинеол-4 (4,26%), лавандуллол (3,31%) и борнеол (1,1%).

Таблица 2

Средний химический состав эфирного масла *Lavandula angustifolia*

Table 2

Average Chemical Composition of *Lavandula Angustifolia* Essential Oil

Компоненты	Содержание, % от цельного масла	
	Без обработки (образец № 2)	С применением обработки искровым разрядом (образец № 3)
Монотерпеновые спирты	57,26 ± 0,15	58,655 ± 0,18
линаоол	51,7 ± 0,14	53,0 ± 0,16
борнеол	1,19 ± 0,03	1,11 ± 0,03
терпинен-4-ол	4,09 ± 0,01	4,26 ± 0,02
терпинеол	0,28 ± 0,01	0,285 ± 0,01
Сложные эфиры	16,33 ± 0,07	16,319 ± 0,1
линалиацетат	15,2 ± 0,07	15,2 ± 0,09
Лавандулиацетат	0,938 ± 0,01	0,94 ± 0,01
1-октен-3-ил ацетат	0,053 ± 0,00	0,042 ± 0,00
Гексил ацетат	0,139 ± 0,01	0,137 ± 0,01
Монотерпеновые углеводороды	3,05 ± 0,04	2,463 ± 0,03
транс-β-оцимен	1,55 ± 0,05	1,47 ± 0,04
цис-β-оцимен	1,38 ± 0,04	0,89 ± 0,04
камфен	0,12 ± 0,01	0,103 ± 0,00
Сесквитерпеновые углеводороды	1,11 ± 0,03	1,17 ± 0,02
β-кариофиллен	1,11 ± 0,03	1,17 ± 0,02
Кетоны	0,571 ± 0,01	0,587 ± 0,01
Октанон-3	0,462 ± 0,01	0,471 ± 0,01
Камфора	0,109 ± 0,00	0,116 ± 0,00

Компонентный состав и содержание летучих соединений полученного эфирного масла с применением предварительной обработки слаботочным искровым разрядом свидетельствуют о высоком качестве эфирного масла и пригодности его использования в парфюмерии.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Исследование влияния слаботочного искрового разряда на структуру растительного сырья показало, что во внутренних тканях соцветий лаванды образуются дополнительные каналы, способству-

ющие облегченному выходу трудноизвлекаемого эфирного масла. Формирование древовидной структуры с электропорацией мембран растительных клеток при обработке искровым разрядом было отражено в предыдущих работах и исследованиях других авторов (Du, 2022; Shorstkii, 2019c). Преимуществом проникающего воздействия является возможность дополнительно извлекать эфирное масло из труднодоступных вместилищ. Формирование дополнительных континуумов в структуре растительных материалов от обработки искровым разрядом отмечено рядом авторов (Heydari, 2023; Liu, 2018), однако все они воздействуют на поверхность, не проникая вглубь материала. Так, (Heydari, 2023) описал эффект протравливания поверхности материала, а (Liu, 2018) — электроконвекцию целевых компонентов.

При анализе кривых экстрагирования установлено, что обработка слаботочным искровым разрядом позволяет увеличить количество и скорость извлечения эфирного масла из соцветий лаванды методами водной и паровой дистилляции. Данные выхода эфирного масла, полученные в работе сопоставимы с работами других исследователей: 2,13 % (Slimani, 2022), 1,5 % (Elharas, 2013) и 2,2 % (Работягов, 2017). Различия в количестве эфирного масла могут быть связаны с сортностью, географическими особенностями, климатическими условиями и другими факторами. При проведении натуральных экспериментов обработка эфирномасличного сырья не сопровождалась выделением аромата эфирных масел в помещении, что говорит об отсутствии локальных перегревов материала или уноса целевого компонента непосредственно при обработке.

Анализ физико-химических показателей полученных в результате исследования эфирных масел показал результаты, сходные с известными данными, что свидетельствует о высокой чистоте эфирного масла (Hadri, 2023; Danila, 2018; Filly, 2016). При этом концентрация основного компонента — линалоола — увеличилась с 51,7 ± 0,14 % до 53,0 ± 0,16 % для образцов, полученных с применением предварительной обработки слаботочным искровым разрядом. Аналогичные результаты были получены в работах, посвященных обработке импульсным электрическим полем при извлечении различных эфирных масел (Ghazanfari, 2023; Barros, 2022).

Расчет удельных энергетических затрат показал наименьшие удельные затраты в сравнении с технологиями микроволновой обработки и обработки импульсным электрическим полем (Barros, 2022). На примере аппарата ёмкостью 10 м³ потребление энергии при обработке слаботочным искровым разрядом составит 16 кВт за цикл экстракции, а прирост эфирного масла за сопоставимый временной интервал — 5,4 л. При аналогичном расчете технология ИЭП, по данным работы (Barros, 2022), потребует 63 кВт, а микроволновая обработка, по данным (Danila, 2018), — 82 кВт.

Ограничения исследования

Проведенное исследование имеет ряд ограничений, которые необходимо учитывать при интерпретации результатов. Во-первых, эксперименты выполнены на соцветиях лаванды (*Lavandula angustifolia*) одного урожая и региона выращивания, что не позволяет напрямую экстраполировать полученные данные на другие сорта, годы вегетации и климатические условия. Во-вторых, параметры предварительной обработки слаботочным искровым разрядом (напряжение, время обработки, масса навески) подбирались из условия отсутствия локального перегрева и рассматривались в фиксированном диапазоне без детальной оптимизации режима по критерию максимального выхода и качества эфирного масла. В-третьих, сравнение проводилось только для водной и паровой дистилляции в лабораторных условиях при заданном гидромодуле и длительности процесса; другие перспективные методы экстракции (микроволновая, ультразвуковая, сверхкритическая и растворительная экстракция) в работе не исследовались, что сужает область практической применимости выводов. В-четвертых, микроструктурные изменения тканей соцветий лаванды оценивались преимущественно качественно, с использованием сканирующей электронной микроскопии, без количественной морфометрической обработки изображений и без моделирования процессов массопереноса. Наконец, не изучались сенсорные показатели и стабильность эфирного масла при хранении, что требует отдельного рассмотрения в последующих исследованиях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе представлен оригинальный метод подготовки эфиромасличного растительного сырья для процессов экстрагирования на основе обработки слаботочным искровым разрядом. Проведен сравнительный анализ водной и паровой дистилляции для извлечения эфирного масла из соцветий лаванды с применением предварительной электрофизической обработки. Анализ внутренних тканей соцветий лаванды методом сканирующей электронной микроскопии показал формирование развитой капиллярно-пористой структуры и дополнительных каналов, облегчающих выход трудноизвлекаемого эфирного масла. Установлено, что использование слаботочного искрового разряда позволяет увеличить выход эфирного масла лаванды с 2,56% до 2,65% при гидродистилляции и с 2,63% до 2,65% при перегонке в токе водяного пара. Максимальный выход масла зафиксирован при паровой дистилляции с предварительной обработкой слаботочным искровым разрядом.

Показано, что предварительная обработка слаботочным искровым разрядом оказывает влияние не только на выход, но и на химический состав эфирного масла лаванды: содержание терпенов увеличивается, в частности, концентрация основного компонента — линалоола — возрастает с $51,7 \pm 0,14\%$ до $53,0 \pm 0,16\%$. Полученные данные позволяют связать рост выхода терпенов с формированием развитой капиллярно-пористой структуры в растительном сырье после обработки.

Сочетание предварительной электрофизической обработки слаботочным искровым разрядом с дистилляцией позволяет сократить время экстракции, повысить выход эфирного масла и сохранить его высокое качество. Предложенная технология обладает потенциалом масштабирования при меньших удельных энергетических затратах по сравнению с обработкой импульсным электрическим полем и микроволновой обработкой. Дальнейшее развитие исследования предполагает оценку эффективности и глубины извлечения эфирного масла из соцветий лаванды при исчерпывающей экстракции углеводородными растворителями, а также разработку технических решений для промышленной реализации предложенного метода. Дополнительно планируется исследовать ограничения технологии, обусловленные толщиной обрабатываемого слоя сырья в динамическом потоке.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Андрей Геннадьевич Шерстюков: проведение исследования; валидация результатов; написание черновика рукописи.

Иван Александрович Шорсткий: концептуализация; написание рукописи — рецензирование и редактирование.

Дмитрий Андреевич Худяков: формальный анализ; визуализация; получение финансирования.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Andrey G. Sherstyukov: investigation; validation; writing — original draft preparation.

Ivan A. Shorstkii: conceptualization; writing — review & editing.

Dmitry A. Khudyakov: formal analysis; visualization; funding acquisition.

ЛИТЕРАТУРА

- Абашкин, И. А., Елеев, Ю. А., Глухан, Е. Н., Кучинский, Е. В., & Афанасьев, В. В. (2021). Методы экстракции биологически активных веществ из растительного сырья (обзор). *Химия и технология органических веществ*, 2, 43–59. https://doi.org/10.54468/25876724_2021_2_43
- Бурак, Л. Ч., & Завалей, А. П. (2024). Эффективность комбинированного воздействия ультразвука и микроволн при обработке пищевых продуктов. Обзор. *Техника и технология пищевых производств*, 54(2), 342–357. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2024-2-2510>
- Невкрытая, Н. В., & Мирошниченко, А. В. (2019). Актуальные направления биохимических исследований эфиромасличных растений (Обзор. Часть II). Анализ содержания и компонентного состава эфирного масла в растениях для целей селекции и семеноводства. *Таврический вестник аграрной науки*, (1), 71–82. <https://doi.org/10.33952/2542-0720-2019-1-17-71-82>
- Работягов, В. Д., & Палий, А. Е. (2017). Компонентный состав и содержание эфирного масла двух видов *Lavandula* (Lamiaceae), выращиваемых в условиях Крыма. *Химия растительного сырья*, 1, 59–64. <https://doi.org/10.14258/jcprm.2017011515>
- Тарасов, В. Е., Иванов, С. В., & Петрова, Т. В. (2013). Определение содержания экстрактивных веществ и эфирных масел в натуральном молотом кофе. *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*, 4, 38–40.
- Шорсткий, И. А. (2019). Использование электрофизических приемов при переработке масличного сырья. *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*, 4, 11–16. <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2019.4.3>
- Шорсткий, И. А., Кошевой Е. П. (2015). Экстракция с наложением импульсного электрического поля. *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*, 4, 40–42.
- Barros, M., Fernandes, A., Nunes, F. M., & Rodrigues, S. (2022). Extraction of essential oils from plants by hydrodistillation with pulsed electric fields (PEF) pre-treatment. *Applied Sciences*, 12(16), 1–15. <https://doi.org/10.3390/app12126234>
- Chakravarty, I., Parmar, V. M., Mandavgane, S. A. (2021). Current trends in essential oil (EO) production. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 13(17), 15311–15334. <https://doi.org/10.1007/s13399-021-01963-3>
- Chen, G., Li, X., Chen, Y., & Wang, J. (2021). Enhanced extraction of essential oil from *Cinnamomum cassia* bark by ultrasound assisted hydrodistillation. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 36, 38–46. <https://doi.org/10.1016/j.cjche.2020.12.012>
- Danila, E., Hanganu, D., Olah, N. K., & Benedec, D. (2018). Comparative study of *Lavandula angustifolia* essential oils obtained by microwave and classical hydrodistillation. *Revista de Chimie*, 69(8), 2240–2244.

- Du, Y., Yang, F., Yu, H., Cheng, Y., Guo, Y., & Yao, W. (2022). Improving food drying performance by cold plasma pretreatment: A systematic review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 21(5), 4402–4421. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.13027>
- Durek, J., Fröhling, A., Stelz, F., Ehlbeck, J., & Schlüter, O. (2022). Pilot-scale generation of plasma processed air and its influence on microbial count, microbial diversity, and selected quality parameters of dried herbs. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 75, 102901. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2021.102901>
- Elharas, K., Elamrani, A., & Zrira, S. (2013). Activité antibactérienne de l'huile essentielle des inflorescences de *Laurus nobilis* et *Lavandula angustifolia* [Antibacterial activity of the essential oil from the inflorescences of *Laurus nobilis* and *Lavandula angustifolia*]. *Afrique Science: Revue Internationale des Sciences et Technologie*, 9(2), 134–141.
- Ferraz, L. P., & Silva, E. K. (2025). Pulsed electric field-assisted extraction techniques for obtaining vegetable oils and essential oils: Recent progress and opportunities for the food industry. *Separation and Purification Technology*, 354(2), 128833. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2024.128833>
- Filly, A., Fernandez, X., Minuti, M., Visinoni, F., Cravotto, G., & Chemat, F. (2016). Water as a green solvent combined with different techniques for extraction of essential oil from lavender flowers. *Comptes Rendus Chimie*, 19(6), 707–717. <https://doi.org/10.1016/j.crci.2015.12.008>
- Gavahian, M., Farahnaky, A., Javidnia, K., & Majzoobi, M. (2015). Effect of applied voltage and frequency on extraction parameters and extracted essential oils from *Mentha piperita* by ohmic assisted hydrodistillation. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 29, 161–169. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2015.03.003>
- Gavahian, M., Munekata, P. E. S., Eş, I., Lorenzo, J. M., & Khaneghah, A. M. (2020). Ohmic heating as a promising technique for extraction of herbal essential oils: Understanding mechanisms, recent findings, and associated challenges. *Advances in Food and Nutrition Research*, 91, 227–273. <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2019.10.003>
- Ghazanfari, N., Mortazavi, S. A., Yazdi, F. T., & Mohammadi, M. (2023). Using pulsed electric field pre-treatment to optimize coriander seeds essential oil extraction and evaluate antimicrobial properties, antioxidant activity, and essential oil compositions. *LWT*, 182, 114852. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114852>
- Hadri, A. M., El Alami, A., & El Hadri, A. (2023). Effect of pulsed electric field treatment on the extraction of essential oil from lavender (*Lavandula angustifolia* Mill.). *International Journal of Biology and Biotechnology*, 20(1), 37–46.
- Heydari, M., Carbone, K., Gervasi, F., Parandi, E., Rouhi, M., Rostami, O., Mohammadi, R. (2023). Cold plasma-assisted extraction of phytochemicals: A review. *Foods*, 12(17), 3181. <https://doi.org/10.3390/foods12173181>
- Kant, R., & Kumar, A. (2022). Review on essential oil extraction from aromatic and medicinal plants: Techniques, performance and economic analysis. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 30, 100829. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2022.100829>
- Katekar, V. P., Rao, A. B., & Sardeshpande, V. R. (2022). Review of the rose essential oil extraction by hydrodistillation: An investigation for the optimum operating condition for maximum yield. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 29, 100783. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2022.100783>
- Liu, B., Fu, J., Zhu, Y., & Chen, P. (2018). Optimization of microwave-assisted extraction of essential oil from lavender using response surface methodology. *Journal of oleo Science*, 67(10), 1327–1337. <https://doi.org/10.5650/jos.ess18019>
- Miloudi, K., Hamimed, A., & Tahraoui, H. (2018). Intensification of essential oil extraction of the *Marrubium vulgare* using pulsed electric field. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 21(3), 811–824. <https://doi.org/10.1080/0972060X.2018.1497549>

- Picot-Allain, C., Mahomoodally, M. F., Ak, G., & Zengin, G. (2021). Conventional versus green extraction techniques — A comparative perspective. *Current Opinion in Food Science*, 40, 144–156. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2021.02.009>
- Razola-Díaz, M. del C., Guerra-Hernández, E. J., García-Villanova, B., & Verardo, V. (2021). Recent developments in extraction and encapsulation techniques of orange essential oil. *Food Chemistry*, 354, 129575. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129575>
- Rezaei, S., Naghdi Badi, H., Ghorbanpour, M., & Abdossi, V. (2021). Optimization of DBD-plasma assisted hydro-distillation for essential oil extraction of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) seed and spearmint (*Mentha spicata* L.) leaf. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 24, 100300. <https://doi.org/10.1016/j.jarmp.2021.100300>
- Shorstkii, I. A., & Zherlicin, A. G. (2019a). Impact of pulsed electric field and pulsed microwave treatment on morphological and structural characteristics of sunflower seed. *OCL*, 26, 47. <https://doi.org/10.1051/ocl/2019047>
- Shorstkii, I. A. (2019b). Extraction kinetic of sunflower seeds assisted by pulsed electric fields. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions A: Science*, 43(3), 813–817. <https://doi.org/10.1007/s40995-019-00702-8>
- Shorstkii, I., & Koshevoi, E. (2019c). Drying technology assisted by nonthermal pulsed filamentary microplasma treatment: Theory and practice. *ChemEngineering*, 3(4), 91–103. <https://doi.org/10.3390/chemengineering3040091>
- Silva, W. M. F., Silva, G. M., Santana, D. B., Salvador, I. S., & Silva, E. C. (2022). Basil essential oil: Methods of extraction, chemical composition, biological activities, and food applications. *Food and Bioprocess Technology*, 15(1), 1–27. <https://doi.org/10.1007/s11947-021-02704-0>
- Slimani, C., Sqalli, H., Rais, C., & El Ouariachi, E. (2022). Chemical composition and evaluation of biological effects of essential oil and aqueous extract of *Lavandula angustifolia* L. *Notulae Scientia Biologicae*, 14(1), 11172. <https://doi.org/10.15835/nsb14111172>
- Yingngam, B., Kacha, W., Rungsevijitprapa, W., & Supaka, N. (2021). Optimization of the eco-friendly solvent-free microwave extraction of *Limnophila aromatica* essential oil. *Industrial Crops and Products*, 165, 113443. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113443>

REFERENCES

- Abashkin I.A., Eleev Yu.A., Glukhan E.N., Kuchinsky E.V., Afanasyev V.V. (2021). Extraction methods for biologically active substances from plant materials (review). *Chemistry and Technology of Organic Substances*, 2, 43–59. (In Russ.). https://doi.org/10.54468/25876724_2021_2_43
- Burak, L. Ch., & Zavaley, A. P. (2024). Combined Ultrasound and Microwave Food Processing: Efficiency Review. *Food Processing: Techniques and Technology*, 54(2), 342–357. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2024-2-2510>
- Nevkrytaya, N. V., & Mishnev, A. V. (2019). Actual and contemporary directions of biochemical research of oil-bearing aromatic plants (review, part II). Analysis of the content and component composition of the essential oil in plants for the purpose of breeding and seed growing. *Taurida Herald of the Agrarian Sciences*, (1), 71–82. (In Russ.). <https://doi.org/10.33952/2542-0720-2019-1-17-71-82>
- Rabotyagov, V. D., & Paliy, A. E. (2017). Component composition and content of essential oils in two species *Lavandula* (Lamiaceae) grown in the Crimea. *Chemistry of Plant Raw Materials*, 1, 59–64. (In Russ.). <https://doi.org/10.14258/jcprm.2017011515>
- Tarasov, V. E., Tatarchenko, I. I., Kotova, E. V., & Kondratenko, I. I. (2013). Content definition of extractive substances and essential oils in natural ground coffee. *Izvestiya vuzov. Food Technology*, 4, 38–40. (In Russ.).
- Shorstkii, I. A. (2019). Use of electrophysical methods when processing oil raw materials. *Izvestiya vuzov. Food technology*, 4, 11–16. (In Russ.). <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2019.4.3>

- Shorstkiy, I. A., & Koshevoy, E. P. (2015). Extraction with imposing of pulsed electric field. *Izvestiya vuzov. Food Technology*, 4, 40–42. (In Russ.)
- Barros, M., Fernandes, A., Nunes, F. M., & Rodrigues, S. (2022). Extraction of essential oils from plants by hydrodistillation with pulsed electric fields (PEF) pre-treatment. *Applied Sciences*, 12(16), 1–15. <https://doi.org/10.3390/app12126234>
- Chakravarty, I., Parmar, V. M., Mandavgane, S. A. (2021). Current trends in essential oil (EO) production. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 13(17), 15311–15334. <https://doi.org/10.1007/s13399-021-01963-3>
- Chen, G., Li, X., Chen, Y., & Wang, J. (2021). Enhanced extraction of essential oil from *Cinnamomum cassia* bark by ultrasound assisted hydrodistillation. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 36, 38–46. <https://doi.org/10.1016/j.cjche.2020.12.012>
- Danila, E., Hanganu, D., Olah, N. K., & Benedec, D. (2018). Comparative study of *Lavandula angustifolia* essential oils obtained by microwave and classical hydrodistillation. *Revista de Chimie*, 69(8), 2240–2244.
- Du, Y., Yang, F., Yu, H., Cheng, Y., Guo, Y., & Yao, W. (2022). Improving food drying performance by cold plasma pretreatment: A systematic review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 21(5), 4402–4421. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.13027>
- Durek, J., Fröhling, A., Stelz, F., Ehlbeck, J., & Schlüter, O. (2022). Pilot-scale generation of plasma processed air and its influence on microbial count, microbial diversity, and selected quality parameters of dried herbs. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 75, 102901. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2021.102901>
- Elharas, K., Elamrani, A., & Zrira, S. (2013). Activité antibactérienne de l'huile essentielle des inflorescences de *Laurus nobilis* et *Lavandula angustifolia* [Antibacterial activity of the essential oil from the inflorescences of *Laurus nobilis* and *Lavandula angustifolia*]. *Afrique Science: Revue Internationale des Sciences et Technologie*, 9(2), 134–141.
- Ferraz, L. P., & Silva, E. K. (2025). Pulsed electric field-assisted extraction techniques for obtaining vegetable oils and essential oils: Recent progress and opportunities for the food industry. *Separation and Purification Technology*, 354(2), 128833. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2024.128833>
- Filly, A., Fernandez, X., Minuti, M., Visinoni, F., Cravotto, G., & Chemat, F. (2016). Water as a green solvent combined with different techniques for extraction of essential oil from lavender flowers. *Comptes Rendus Chimie*, 19(6), 707–717. <https://doi.org/10.1016/j.crci.2015.12.008>
- Gavahian, M., Farahnaky, A., Javidnia, K., & Majzoobi, M. (2015). Effect of applied voltage and frequency on extraction parameters and extracted essential oils from *Mentha piperita* by ohmic assisted hydrodistillation. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 29, 161–169. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2015.03.003>
- Gavahian, M., Munekata, P. E. S., Eş, I., Lorenzo, J. M., & Khaneghah, A. M. (2020). Ohmic heating as a promising technique for extraction of herbal essential oils: Understanding mechanisms, recent findings, and associated challenges. *Advances in Food and Nutrition Research*, 91, 227–273. <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2019.10.003>
- Ghazanfari, N., Mortazavi, S. A., Yazdi, F. T., & Mohammadi, M. (2023). Using pulsed electric field pre-treatment to optimize coriander seeds essential oil extraction and evaluate antimicrobial properties, antioxidant activity, and essential oil compositions. *LWT*, 182, 114852. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114852>
- Hadri, A. M., El Alami, A., & El Hadri, A. (2023). Effect of pulsed electric field treatment on the extraction of essential oil from lavender (*Lavandula angustifolia* Mill.). *International Journal of Biology and Biotechnology*, 20(1), 37–46.
- Heydari, M., Carbone, K., Gervasi, F., Parandi, E., Rouhi, M., Rostami, O., Mohammadi, R. (2023). Cold plasma-assisted extraction of phytochemicals: A review. *Foods*, 12(17), 3181. <https://doi.org/10.3390/foods12173181>

- Kant, R., & Kumar, A. (2022). Review on essential oil extraction from aromatic and medicinal plants: Techniques, performance and economic analysis. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 30, 100829. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2022.100829>
- Katekar, V. P., Rao, A. B., & Sardeshpande, V. R. (2022). Review of the rose essential oil extraction by hydrodistillation: An investigation for the optimum operating condition for maximum yield. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 29, 100783. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2022.100783>
- Liu, B., Fu, J., Zhu, Y., & Chen, P. (2018). Optimization of microwave-assisted extraction of essential oil from lavender using response surface methodology. *Journal of oleo Science*, 67(10), 1327–1337. <https://doi.org/10.5650/jos.ess18019>
- Miloudi, K., Hamimed, A., & Tahraoui, H. (2018). Intensification of essential oil extraction of the *Marrubium vulgare* using pulsed electric field. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 21(3), 811–824. <https://doi.org/10.1080/0972060X.2018.1497549>
- Picot-Allain, C., Mahomoodally, M. F., Ak, G., & Zengin, G. (2021). Conventional versus green extraction techniques — A comparative perspective. *Current Opinion in Food Science*, 40, 144–156. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2021.02.009>
- Razola-Díaz, M. del C., Guerra-Hernández, E. J., García-Villanova, B., & Verardo, V. (2021). Recent developments in extraction and encapsulation techniques of orange essential oil. *Food Chemistry*, 354, 129575. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129575>
- Rezaei, S., Naghdi Badi, H., Ghorbanpour, M., & Abdossi, V. (2021). Optimization of DBD-plasma assisted hydro-distillation for essential oil extraction of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) seed and spearmint (*Mentha spicata* L.) leaf. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 24, 100300. <https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2021.100300>
- Shorstkii, I. A., & Zherlicin, A. G. (2019a). Impact of pulsed electric field and pulsed microwave treatment on morphological and structural characteristics of sunflower seed. *OCL*, 26, 47. <https://doi.org/10.1051/ocl/2019047>
- Shorstkii, I. A. (2019b). Extraction kinetic of sunflower seeds assisted by pulsed electric fields. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions A: Science*, 43(3), 813–817. <https://doi.org/10.1007/s40995-019-00702-8>
- Shorstkii, I., & Koshevoi, E. (2019c). Drying technology assisted by nonthermal pulsed filamentary microplasma treatment: Theory and practice. *ChemEngineering*, 3(4), 91–103. <https://doi.org/10.3390/chemengineering3040091>
- Silva, W. M. F., Silva, G. M., Santana, D. B., Salvador, I. S., & Silva, E. C. (2022). Basil essential oil: Methods of extraction, chemical composition, biological activities, and food applications. *Food and Bioprocess Technology*, 15(1), 1–27. <https://doi.org/10.1007/s11947-021-02704-0>
- Slimani, C., Sqalli, H., Rais, C., & El Ouariachi, E. (2022). Chemical composition and evaluation of biological effects of essential oil and aqueous extract of *Lavandula angustifolia* L. *Notulae Scientia Biologicae*, 14(1), 11172. <https://doi.org/10.15835/nsb14111172>
- Yingngam, B., Kacha, W., Rungsevijitprapa, W., & Supaka, N. (2021). Optimization of the eco-friendly solvent-free microwave extraction of *Limnophila aromatica* essential oil. *Industrial Crops and Products*, 165, 113443. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113443>

ОБ АВТОРАХ

Шерстюков Андрей Геннадьевич, лаборант-исследователь лаборатории «Передовых электрофизических технологий и новых материалов» ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет», (350072, Россия, г. Краснодар, ул. Московская 2), ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-6318-8797>, Scopus ID: 56922345200, Researcher ID: PJA-6371-2026, SPIN-код: 8031-3941, sherstyukov86@inbox.ru

Иван Александрович Шорсткий, к.т.н., доц, заведующий лабораторией «Передовых электрофизических технологий и новых материалов» ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет», (350072, Россия, г. Краснодар, ул. Московская 2), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5804-7950>, Scopus ID: 59673235100, Researcher ID: M-6663-2016, SPIN-код: 8541-4857, thegector@mail.ru

Худяков Дмитрий Андреевич, младший научный сотрудник лаборатории «Передовых электрофизических технологий и новых материалов» ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет», (350072, Россия, г. Краснодар, ул. Московская 2), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9928-6146>, Scopus ID: 57214336300, SPIN-код: 1169-1102, dima.khudyakov.1995@mail.ru

ABOUT THE AUTHOR

Andrey Gennadyevich Sherstyukov, Research Laboratory Assistant at the Laboratory of “Advanced Electrophysical Technologies and New Materials,” Kuban State Technological University (2 Moskovskaya St., Krasnodar, 350072, Russia). ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-6318-8797>. Scopus ID: 56922345200. ResearcherID: PJA-6371-2026. SPIN code: 8031-3941. Email: sherstyukov86@inbox.ru

Ivan Aleksandrovich Shorstkiy, Candidate of Technical Sciences (PhD equivalent), Associate Professor, Head of the Laboratory “Advanced Electrophysical Technologies and New Materials,” Kuban State Technological University (FGBOU VO), (2 Moskovskaya St., Krasnodar, 350072, Russia). ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5804-7950>, Scopus ID: 59673235100, ResearcherID: M-6663-2016, SPIN code: 8541-4857, thegector@mail.ru

Dmitry Andreevich Khudyakov, Junior Research Fellow, Laboratory of Advanced Electrophysical Technologies and New Materials, Kuban State Technological University (2 Moskovskaya St., Krasnodar, 350072, Russia). ORCID: 0000-0002-9928-6146. Scopus ID: 57214336300. SPIN code: 1169-1102. Email: dima.khudyakov.1995@mail.ru.