

УДК 66.061.3 ; 616-003.725

## Сверхкритическая экстракция как метод получения эфирного масла *Coriandrum sativum* с повышенным содержанием линалоола

Л. А. Рябоконева\*, И. Ю. Сергеева, А. С. Марков, О. В. Козлова, Т. Ф. Киселева

\*Кемеровский государственный университет, г. Кемерово, Россия;

e-mail: Lara.ryabokoneva22@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3282-9326>

### Информация о статье

Поступила  
в редакцию  
24.06.2025;

получена  
после доработки  
12.09.2025;

принята  
к публикации  
19.09.2025

### Ключевые слова:

CO<sub>2</sub>-экстракция,  
*Coriandrum sativum*,  
биологически активные  
вещества,  
экстракция

### Реферат

Сверхкритическая углекислотная флюидная экстракция широко применяется для получения липидных веществ из эфиромасличного сырья. В исследовании доказана целесообразность применения сверхкритической экстракции для выделения веществ, проявляющих различную биологическую активность, из плодов кориандра *Coriandrum sativum*. Экстракция проводилась при давлении 10 и 20 МПа; в приемных сепараторах 1 и 2 давление варьировалось от 4 до 6 МПа; температура в рабочей колонке поддерживалась на уровне 35 °С; расход газа 2,1 л/мин. Общий выход липофильной фракции составил 10,8 %, максимальный выход наблюдался в сепараторе 2. Выход при 10 МПа достиг 4,88 %, а при 20 МПа – 5,92 %. Газовая хромато-масс-спектрометрия выполнялась для двух фракций, полученных в результате экстракции. Содержание (в процентах от суммы всех компонентов) главного целевого компонента варьировалось в диапазоне 39,04–75,9 %; жирных кислот – 43,3 % (фракция 1) и 14,1 % (фракция 2). В ходе исследования проведены тест на растворимость полученных образцов, верификация полученных результатов, сравнительный анализ эффективности представленного метода относительно стандартных методов экстракции и подготовки сырья. Полученные результаты демонстрируют потенциал флюидной экстракции для получения эфирного масла кориандра.

### Для цитирования

Рябоконева Л. А. и др. Сверхкритическая экстракция как метод получения эфирного масла *Coriandrum sativum* с повышенным содержанием линалоола. Вестник МГТУ. 2025. Т. 28, № 4/2. С. 632–642. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2025-28-4/2-632-642>.

## Supercritical extraction as a method for obtaining *Coriandrum sativum* essential oil with increased linalool content

Larisa A. Ryabokoneva\*, Irina Yu. Sergeeva, Alexander S. Markov,  
Oksana V. Kozlova, Tatyana F. Kiseleva

\*Kemerovo State University, Kemerovo, Russia;

e-mail: Lara.ryabokoneva22@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3282-9326>

### Article info

Received  
24.06.2025;

received  
in revised;  
12.09.2025

accepted  
19.09.2025

### Key words:

CO<sub>2</sub> extraction,  
*Coriandrum sativum*,  
biologically  
active substances,  
extraction

### Abstract

Supercritical carbon dioxide fluid extraction is widely used to obtain lipid substances from essential oil raw materials. The study has demonstrated the feasibility of using supercritical extraction to isolate substances exhibiting various biological activities from coriander (*Coriandrum sativum*) fruits. Extraction has been carried out at a pressure of 10 and 20 MPa; in receiving separators 1 and 2, the pressure varies from 4 to 6 MPa; the temperature in the working column is maintained at 35 °C; gas flow rate is 2.1 l/min. The total yield of the lipophilic fraction is 10.8 %, with the maximum yield observed in separator 2. The yield at 10 MPa reaches 4.88 %, and at 20 MPa – 5.92 %. Gas chromatography-mass spectrometry has been performed for two fractions obtained as a result of extraction. The content (as a percentage of the total amount of all components) of the main target component varies in the range of 39.04–75.9 %; fatty acids – 43.3 % (fraction 1) and 14.1 % (fraction 2). The study has included a solubility test of the obtained samples, verification of the obtained results, and a comparative analysis of the effectiveness of the presented method relative to standard extraction methods and raw material preparation. The obtained results demonstrate the potential of fluid extraction for obtaining coriander essential oil.

### For citation

Ryabokoneva, L. A. et al. 2025. Supercritical extraction as a method for obtaining *Coriandrum sativum* essential oil with increased linalool content. *Vestnik of MSTU*, 28(4/2), pp. 632–642. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2025-28-4/2-632-642>.

## Введение

Эфиромасличные культуры являются ценным сырьем для извлечения легколетучих ароматических соединений широкого спектра. Выделяемые из сырья вторичные метаболиты (терпены, монотерпены, сесквитерпены и т. д.) (Tripathy *et al.*, 2022; Stefanaki, 2021) относятся к биологически активным веществам. Они широко применяются в различных отраслях промышленности, включая фармацевтическую, пищевую, парфюмерно-косметическую. Целевые компоненты могут проявлять антимикробную активность (Dashtian *et al.*, 2024), а также обладать противовоспалительным, антиоксидантным и адаптивным эффектом (Fan *et al.*, 2023; Сергеева и др., 2024). Их многофункциональность и возможность применения в различных продуктах обуславливают интерес разных сегментов рынка и растущий спрос на вещества данной группы (Faehnrich *et al.*, 2021). Получение и очистка целевых компонентов играют важную роль в повышении их качества (Carvalho *et al.*, 2023) и практической пользы, что напрямую связано с коммерциализацией, научными разработками и выводом новых продуктов на рынок.

Традиционно эфирные масла получают методом водно-паровой дистилляции, суть которой заключается в переводе легколетучих компонентов в газообразную смесь, ее дальнейшей конденсации с последующим отделением водной фракции (Ефремов, 2013). Применение данной технологии имеет ряд недостатков: низкая селективность процесса, термическое разложение нестабильных соединений, высокая продолжительность и многоэтапность процесса (Karunanithi *et al.*, 2024; Anjum *et al.*, 2024).

В современных условиях техники и технологий существует более рациональная технология выделения эфирных масел – сверхкритическая флюидная экстракция (СКФЭ). Данная технология широко применяется для выделения липидных веществ из масличного или эфиромасличного сырья (Ивахнов и др., 2013). Она имеет ряд технологических преимуществ: высокий коэффициент диффузии, низкие температуры, полное удаление растворителя из сырья (Bhusnure *et al.*, 2015; Herrero *et al.*, 2010; Ahmad *et al.*, 2019), что повышает ценность полученных эфирных масел. Однако стоит отметить и ее недостатки: неравномерное распределение сверхкритического CO<sub>2</sub> по всему объему сырья, сложность технологического оборудования (Ahmad *et al.*, 2019). Необходимо также признать, что при реализации метода возникает проблема "эффективного" проникновения газа в сложные структуры клеточных стенок, что значительно влияет на общую эффективность экстракции (Patil *et al.*, 2021).

Эфиромасличные культуры выращиваются в достаточном количестве. По данным Росстата, в 2022 г. площадь, занятая под посевы этой группы, составила почти 247,3 тыс. га. Динамика посевных площадей по республикам (в составе Российской Федерации), краям, областям за 2022 г. представлена на рис. 1.



Рис. 1. Посевные площади эфиромасличных культур в Российской Федерации, тыс. га (2022 г.)

Fig. 1. Sowing areas of essential oil crops in 2022 in the Russian Federation (in thousand hectares)

Почти 90 % всей посевной площади приходится на кориандр *Coriandrum sativum*. Это одна из основных эфиромасличных культур в России, которая характеризуется большим процентным содержанием липофильной фракции (15–20 %), из которой на долю эфирного масла приходится около 1,5–2,5 % (Оганесян, 2007). Главными компонентами эфирного масла являются линалоол (40–70 %), гераниол (3–5 %), геранил-ацетат (до 50 %), борнеол (1–4 %), их уксуснокислые эфиры и альдегиды, терпены. Состав и активность основных компонентов указаны в табл. 1 (Бочкарев и др., 2014). Компонентный состав и процентное содержание компонентов относительно друг друга варьируются в зависимости от способа получения, сорта и ареала произрастания изучаемого растительного сырья.

Таблица 1. Основные компоненты эфирного масла *Coriandrum sativum* и их биологическая активность  
 Table 1. Main components of *Coriandrum sativum* essential oil and their biological activity

| Вещество      | Класс веществ                     | Номер CAS | Биологическая активность   |
|---------------|-----------------------------------|-----------|--|
| Линалоол      | Терпеновый спирт                  | 78-70-6   | Биоцидные свойства (An et al., 2021)   |
| Гераниол      | Терпеновый спирт                  | 106-24-1  | Противоопухолевое и противовоспалительное действие (Племенков, 2006), антимикробные и фунгицидные свойства (Лацерус и др., 2012)   |
| Геранилацетат | Терпеноид                         | 105-87-3  | Обезболивающее, спазмолитическое, противовоспалительное и нейротропное свойства (Пономарева и др., 2015)   |
| Борнеол       | Производное терпена               | 507-70-0  | Антидепрессивное, обезболивающее и антиспазматическое действие (Наумова и др., 2012)   |
| Пинен         | Бициклический терпен (монотерпен) | 80-56-8   | Антибактериальная активность, противовоспалительные, антисептические, фунгицидные и противовирусные свойства, отхаркивающая и диуретическая активность (Коваленко и др., 2019) |
| Фелландрен    | Циклический монотерпен            | 99-83-2   | Бактерицидные, противомикробные свойства, антиоксидантная активность (Осмоловская и др., 2001)   |

Биологически активные соединения *Coriandrum sativum* демонстрируют широкий спектр биологической активности. Целевые вещества проявляют выраженные биоцидные, противовоспалительные, противоопухолевые, антидепрессивные, обезболивающие и другие фармакологические свойства.

Целью работы является оценка влияния основных технологических параметров сверхкритической флюидной экстракции плодов *Coriandrum sativum* на фракционный состав продуктов экстракции.

#### Материалы и методы

Плоды кориандра ("Юниспайс", Россия) предварительно измельчали на жерновой мельнице HR-2200 (Китай); размер полученных частиц  $(2,5-3,0) \pm 0,5$  мм; влажность сырья  $11,5 \pm 0,1$  %.

Процесс сверхкритической экстракции проводили на установке ЭЗТ-10/2-1/1-3-ВА (Россия), схема которой представлена на рис. 2.

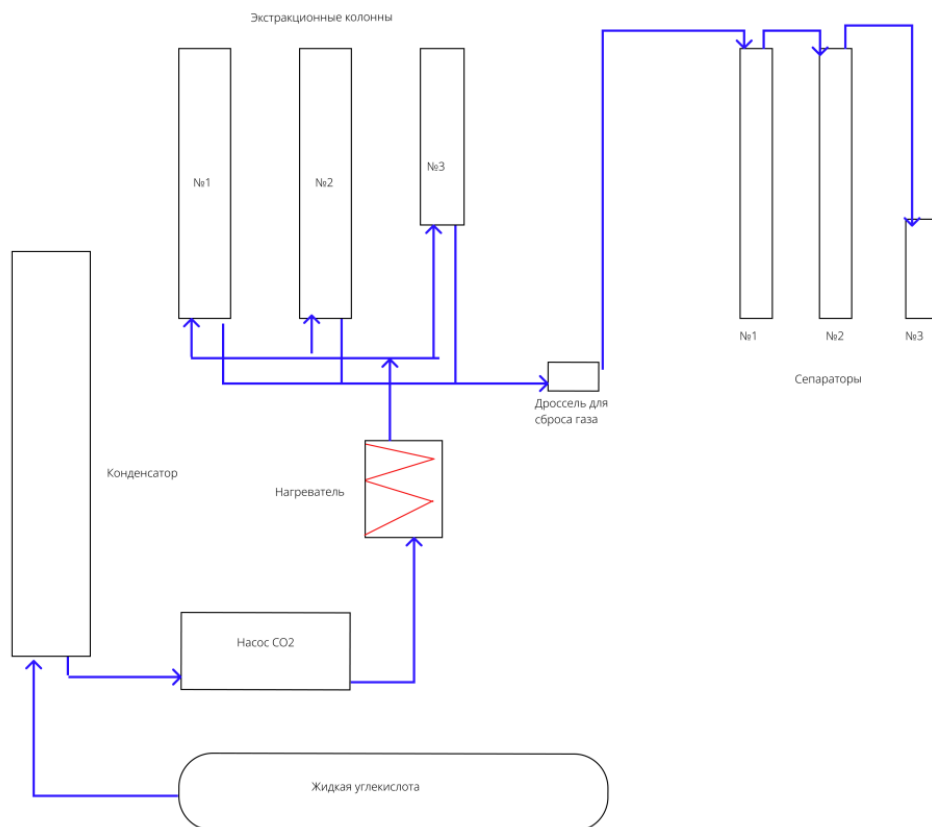


Рис. 2. Процессуальная схема установки углекислотной экстракции ЭЗТ-10/2-1/1-3-ВА  
 Fig. 2. Process flow diagram of the carbon dioxide extraction plant

В кассету рабочей колонки помещали предварительно подготовленное сырье. Экстракцию проводили при равномерном повышении давления в рабочей колонке  $P_p$  от 10 до 20 МПа с шагом 10 МПа. В исследовании (Zeković *et al.*, 2016) представлены параметры экстракции 50–300 бар, что соответствует 5–30 МПа; в работе (Illés *et al.*, 2000) экстракцию проводили при 5, 8, 10 МПа. Поэтому было принято решение о выборе средних значений для процесса экстракции (10–20 МПа) с учетом литературных данных, а также технических возможностей применяемой установки. Продолжительность экстракции при каждом давлении составляла 120 мин; экстракт фракционировали в трех сепараторах. Температура в рабочей колонке  $T_p$  поддерживалась на уровне 35 °С; расход газа составил 2,1 л/мин. Основные технологические параметры эксперимента представлены в табл. 2, где  $P_{c1}$ ,  $P_{c2}$ ,  $P_{c3}$  – давление в сепараторах;  $T_{c1}$ ,  $T_{c2}$ ,  $T_{c3}$  – температура в сепараторах.

Таблица 2. Технологические параметры экстракции  
Table 2. Technological parameters of extraction

| Номер эксперимента | $P_p$ , МПа | $T_p$ , °С | $P_{c1}$ , МПа | $T_{c1}$ , °С | $P_{c2}$ , МПа | $T_{c2}$ , °С | $P_{c3}$ , МПа | $T_{c3}$ , °С |
|--------------------|-------------|------------|----------------|---------------|----------------|---------------|----------------|---------------|
| 1                  | 10          | 35         | 6              | 35            | 5              | 30            | 4              | 25            |
| 2                  | 20          | 35         | 6              | 35            | 5              | 30            | 4              | 25            |

Идентификацию полученных фракций проводили, применяя традиционный протокол. Газовую хромато-масс-спектрометрию (ГХ-МС) осуществляли с использованием капиллярной колонки MDN-1 (твердосвязанный метилсиликон, 30 м × 0,25 мм, Sigma-Aldrich, США) и газового хромато-масс-спектрометра GCMS-QP2010 Ultra (Shimadzu, Япония) в соответствии

– со следующими параметрами: объем инжектора 1 мкл, температура инжектора 200 °С, деление потока 1 : 10, температура интерфейса 210 °С, температура детектора 200 °С, скорость потока газа-носителя He 0,8 мл/мин;

– температурной программой: 100 °С в течение 2 мин; 5 °С/мин до 120 °С; 20 °С/мин до 260 °С; затем 260 °С в течение 2 мин; идентификация масс 50–1 900 m/z.

Коэффициент преломления устанавливали рефрактометрическим методом на приборе PAL-COVID-19 (Япония); температура измерения  $20 \pm 2$  °С.

Определение остатка после выпаривания выполняли согласно ГОСТ 14618.11-78<sup>1</sup> с некоторыми изменениями. Метод основан на измерении потери в массе за счет гигроскопической влаги и летучих веществ при высушивании сырья до абсолютно сухого состояния. Для этого навеску весом 5 г сушили на автоматическом анализаторе влажности MS-70 (Китай) при температуре  $160 \pm 2$  °С до постоянной массы.

### Результаты и обсуждение

При использовании метода сверхкритической флюидной экстракции плодов *Coriandrum sativum* выход липофильной фракции составляет 10,8 % (суммарно при давлении 10 и 20 МПа). Наибольший массовый выход наблюдается в сепараторе 2; выход липидной фракции при давлении 10 МПа составил 4,88 %, при 20 МПа – 5,92 % (рис. 3).

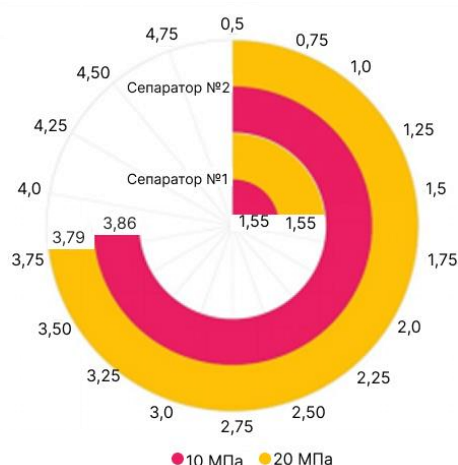


Рис. 3. Суммарный выход экстракта *Coriandrum sativum* (г/100 г сухого вещества)

Fig. 3. Total yield of *Coriandrum sativum* extract (g/100 g of dry matter)

<sup>1</sup> ГОСТ 14618.11-78. Масла эфирные, вещества душистые и полупродукты их синтеза. Методы определения растворимости, летучих веществ и примесей. URL.: <https://internet-law.ru/gosts/gost/40375/>.

Динамика экстракции, а также выход экстракта (г/100 г сухого вещества) представлены на рис. 3–4. При низком давлении экстракции (10 МПа) получен выход гидрофильной фракции в количестве 3,86 % от массы исходного сырья; кинетика процесса зависит от технологических параметров (рис. 4).

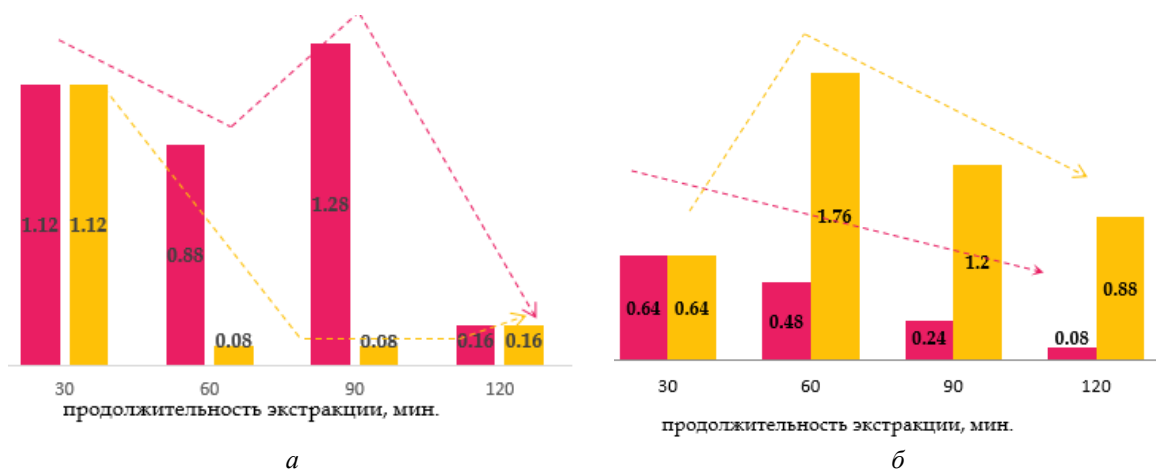


Рис. 4. Динамика выхода экстракта *Coriandrum sativum* (г/100 г сухого вещества) при давлении: а – 10 МПа; б – 20 МПа

Fig. 4. Dynamics of *Coriandrum sativum* extract yield (g/100 g of dry matter) а – extraction pressure 10 MPa; б – extraction pressure 20 MPa

В сепараторе 1 динамика процесса при давлениях 10 и 20 МПа имеет схожий характер в течение первых 60 мин экстракции. Максимум выхода приходится на первые 30 мин экстракции, после чего наблюдается явная тенденция к снижению. Однако в интервале времени 60–90 мин отмечается максимум выхода (1,28 %) при рабочем давлении 10 МПа. Динамика выхода из сепаратора 2 имела четкую линию тренда и отличается тем, что точки максимума определяются при временном интервале в 60 мин при давлении 20 МПа или 90 мин при 10 МПа цикла экстракции.

Повышение рабочего давления экстракции прямо коррелирует с процентным выходом продукта экстракции в сепараторе 2 (повышение на 10 МПа приводит к увеличению выхода экстракта на 21,3 %).

Физико-химические показатели полученных липофильных фракций представлены в табл. 3.

Таблица 3. Физико-химические показатели образцов, полученных при экстракции *Coriandrum sativum*  
Table 3. Physicochemical parameters of samples obtained from the *Coriandrum sativum* extraction

| Номер образца | $P_p$ , МПа | $T_p$ , °C | $P$ в сепараторе, МПа | $T$ в сепараторе, °C | Коэффициент преломления | Остаток после выпаривания, % |
|---------------|-------------|------------|-----------------------|----------------------|-------------------------|------------------------------|
| 1             | 10          | 35         | 6                     | 35                   | $1,4091 \pm 0,0005$     | $17,81 \pm 0,02$             |
| 2             | 10          |            | 5                     | 30                   | $1,4091 \pm 0,0005$     | $20,78 \pm 0,02$             |
| 3             | 20          |            | 6                     | 35                   | $1,4619 \pm 0,0005$     | $24,59 \pm 0,02$             |
| 4             | 20          |            | 5                     | 30                   | $1,4669 \pm 0,0005$     | $12,17 \pm 0,02$             |

Образцы, полученные при одном давлении экстракции, имеют близкие по значению коэффициент преломления и массовую долю летучих веществ. На основании физико-химических показателей принято решение объединить образцы, тем самым были получены две фракции: фракция 1, в нее вошли образцы под номерами 1 и 2; фракция 2, состоящая из образцов 3 и 4. Для полученных фракций также был проведен тест на растворимость в разнополярных растворителях (спирт, гексан и вода); данные представлены на рис. 5.



Рис. 5. Тест на растворимость: а – фракции 1; б – фракции 2. Растворители слева направо: гексан, спирт, вода  
Fig. 5. Solubility test of fractions: а – fraction 1; б – fraction 2; solvents from left to right: hexane, alcohol, water

Фракция 1 по своему виду и растворимости явно отличается от всех остальных образцов и представляет собой непосредственно масло кориандра. Данная фракция полностью растворяется в гексане, частично в спирте и не растворяется в воде (рис. 5, а).

Фракция 2 по своему виду и растворимости имеет отличительные признаки. Данная фракция полностью растворяется в гексане и спирте и не растворяется в воде (рис. 5, а).

На основании физико-химических исследований можно сделать вывод, что повышение давления до 20 МПа приводит к выделению продуктов экстракции, которые отличаются по химическим показателям и растворимости. Для данных фракций проведены исследования по идентификации биологически активных компонентов. Компонентный состав представлен в табл. 4.

В экстракте *Coriandrum sativum* установлено 42 вещества различной структуры, из которых не удалось идентифицировать 8, а 20 веществ присутствуют в незначительном количестве (менее 0,1 % от суммы всех веществ). В табл. 4 представлены обработанные данные по основным компонентам экстрактов.

Таблица 4. Основные вещества, обнаруженные в CO<sub>2</sub>-экстракте *Coriandrum sativum*  
Table 4. Main substances found in CO<sub>2</sub> extract of *Coriandrum sativum*

| Наименование компонентов | Номер CAS | Массовая доля от суммы компонентов, % |           |
|--------------------------|-----------|---------------------------------------|-----------|
|                          |           | Фракция 1                             | Фракция 2 |
| Linalool                 | 78-70-6   | 39,04                                 | 75,9      |
| Alpha-Pinene             | 80-56-8   | 0                                     | 0,22      |
| Gamma-Terpinene          | 99-85-4   | 0                                     | 0,87      |
| Bornanone                | 76-22-2   | 0                                     | 3,97      |
| Geranyl acetate          | 105-87-3  | 0,11                                  | 0,23      |
| D-Limonene               | 5989-27-5 | 0                                     | 0,26      |
| Сумма жирных кислот      | –         | 43,3                                  | 14,1      |

Представленные данные свидетельствуют о различном компонентном составе фракций. Состав целевых компонентов (вторичных метаболитов) – основы эфирного масла кориандра – имеет значительные отличия. Фракция 1, полученная при давлении 10 МПа, содержит в своем составе 43,3 % жирных кислот и представляет собой масло кориандра, что подтверждается результатом теста растворимости.

Повышение давления до 20 МПа приводит к селективному извлечению ряда БАВ. Так, фракция 2 представляет собой многокомпонентную смесь, состоящую в основном из веществ терпенового ряда. При этом содержание линалоола (Linalool) составляет 75,9 %, что на 51,38 % больше, чем его содержание во фракции 1.

В ряде работ представлен способ получения эфирного масла методом паровой дистилляции с использованием различного оборудования. Таким образом были получены образцы эфирного масла *Coriandrum sativum* с содержанием целевого компонента (линалоола) 31,45 % (Новиков и др., 2017), что согласуется с нашими данными по фракции 1. В ходе нашего исследования доказана целесообразность метода флюидной экстракции. Суммарный процент выхода продукта экстракции при заданных параметрах составляет почти 12 %. Полученный процент выхода является приемлемым при содержании липофильной фракции в исследуемом сырье от 15 до 20 % согласно литературным данным (Оганесян и др., 2007).

Если рассматривать в сравнении процент выхода в зависимости от способа экстрагирования, полученные данные немного уступают процентным значениям, полученным в работе (Zeković et al., 2016). В данной работе изучены методы получения эфирного масла кориандра: гидродистилляция, экстракция методом Сокслета, сверхкритическая экстракция (10 и 30 МПа) и др. В результате сравнения установлено, что наибольший выход наблюдается при экстракции по Сокслету (14,45 ± 0,32 %). Экстракция при высоком давлении показала чуть меньший выход, причем наблюдается существенная разница процентов выхода при повышении давления. Так, при давлении 10 МПа выход составил 1,52 ± 0,09 %, а при повышении давления до 30 МПа выход увеличивается до 8,88 ± 0,18 %.

В процессе экспериментов при заданных нами технологических параметрах и давлении экстракции 10,0 МПа выход составил 4,66 %, что почти в 3 раза больше, чем у зарубежных коллег при таком же давлении. Однако в данной серии экспериментов не проводилась экстракция при давлении 30,0 МПа. Если оценивать суммарный выход липидной фракции (9,2 %), то можно говорить о верификации полученных данных.

В ходе исследований проводился анализ влияния основных технологических параметров сверхкритической флюидной экстракции *Coriandrum sativum* на фракционный состав продуктов экстракции, в частности эфирного масла с повышенным содержанием линалоола. При применении классических способов экстракции (дистилляции водяным паром) можно получить эфирное масло кориандра с содержанием терпенового спирта в диапазоне 65–67,51 % (Способ получения..., 2011) в зависимости от сырья, технологического оборудования и параметров предподготовки и обработки сырья. Подготовка сырья позволяет повысить

выход целевого компонента, что подтверждают данные как зарубежных, так и отечественных коллег. Значительные потери эфирного масла наблюдаются при измельчении плодов, поэтому в настоящее время наиболее рациональным способом снижения потерь является обработка жидким азотом. Так, в работе (Подлесный, 2012) подтверждено, что такой специфический метод подготовки сырья позволяет увеличить долю терпенового спирта до 73,9 % (наибольшее значение из указанных в первичных источниках). В нашем эксперименте содержание определяемого компонента составило 75,9 %. Сравнительные данные по содержанию линалоола в зависимости от способа экстракции и технологии предобработки сырья представлены в табл. 5.

Таблица 5. Содержание линалоола в эфирном масле *Coriandrum sativum*, полученное различными способами  
Table 5. Linalool content in *Coriandrum sativum* essential oil obtained by different methods

| Способ экстрагирования       | Подготовка сырья   | Содержание линалоола, % |
|------------------------------|--|-------------------------|
| Водно-паровая дистилляция    | Измельчение (размер частиц и оборудование не представлены) (Мустафаев и др., 2016)                         | 66,5                    |
|                              | Обработка азотом в течение 20 мин и измельчение (Коваленко и др., 2019)                                    | 73,0                    |
|                              | Увлажнение с использованием электроактивированной жидкости (1–2 %, pH 2,3–1,5) (Способ получения..., 2011) | 67,51                   |
| Флюидная экстракция (20 МПа) | Измельчение на жерновой мельнице HR-2200. Размер полученных частиц (2,5–30) ± 0,5 мм                       | 75,9                    |

### Заключение

Обобщая полученные результаты, можно сделать вывод о том, что флюидная экстракция рассматриваемого сырья представляет собой перспективный способ извлечения биологически активных нутриентов. Давление экстракции является ключевым параметром, определяющим эффективность извлечения: повышение рабочего давления с 10 до 20 МПа прямо коррелирует с увеличением выхода липидной фракции с 4,88 до 5,92 %. Наибольший массовый выход наблюдается в сепараторе 2. При низком давлении экстракции (10 МПа) основным продуктом (фракция 1) является липофильная фракция, представляющая собой масло кориандра, обогащенное жирными кислотами (43,3 %); также получен выход гидрофильной фракции в количестве 3,86 % от массы исходного сырья. Повышение давления до 20 МПа значительно изменяет фракционный состав, обеспечивая селективное извлечение ряда биологически активных веществ. Фракция 2, полученная при 20 МПа, представляет собой многокомпонентную смесь веществ терпенового ряда. Содержание линалоола в этой фракции достигает 75,9 %, что на 51,38 % выше, чем во фракции, полученной при 10 МПа; данный результат свидетельствует о возможности направленного извлечения терпеновых соединений.

Таким образом, варьирование рабочего давления в процессе сверхкритической флюидной экстракции *Coriandrum sativum* является эффективным инструментом управления как общим выходом, так и, что особенно важно, направленного получения фракций с различным качественным и количественным составом. Вариативное изменение давления позволяет регулировать компонентный состав получаемого экстракта. При относительно низком давлении экстракции (10 МПа) осуществляется выход фракции с повышенным содержанием жирных кислот. Увеличивая давление до 20 МПа, можно выделять эфирное масло с рекордным содержанием основного компонента – линалоола.

В результате экстракции удалось выделить фракцию, в которой содержание терпенового спирта составило 75,9 %, что на 14,5 % больше, чем при традиционном способе.

### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### Библиографический список

- Бочкарев Н. И., Зеленцов С. В., Мошненко Е. В. Морфология, таксономия, методы селекции и характеристика сортов кориандра посевного (обзор) // Масличные культуры. 2014. № 2(159–160). С. 17–195. EDN: TJFWTZ.
- Ефремов А. А. Метод исчерпывающей гидропародистилляции при получении эфирных масел дикорастущих растений // Успехи современного естествознания. 2013. № 7. С. 88–94. EDN: QBSIOR.
- Ивахнов А. Д., Скребец Т. Э., Богданов М. В., Боголицын К. Г. Получение рапсового масла экстракцией сверхкритическим диоксидом углерода // Химия растительного сырья. 2013. № 3. С. 137–141. EDN: RUNDID.
- Коваленко Н. А., Ахрамович Т. И., Супиченко Г. Н., Сачивко Т. В. [и др.]. Антибактериальная активность эфирных масел иссопа лекарственного // Химия растительного сырья. 2019. № 1. С. 191–199. DOI: <https://doi.org/10.14258/jcrpm.2019014083>. EDN: ZACFJR.



- Лацерус Л. А., Барышников А. Ю. Растительные терпеноиды как возможные противоопухолевые агенты // Российский биотерапевтический журнал. 2010. Т. 9, № 1. С. 3–8. EDN: QZSKXR.
- Мустафаев С. К., Пелипенко Т. В., Усов А. П., Калиенко Е. А. Выход и состав эфирного масла из расколотых плодов кориандра // Научный журнал КубГАУ. 2016. № 118. EDN: VWPTMP.
- Наумова Э. М., Борисова О. Н., Олейникова М. М., Веневцева Ю. Л. [и др.]. Фитотерапия препаратами китайской традиционной медицины // Вестник новых медицинских технологий. 2012. Т. 19, № 1. С. 90–92. EDN: OYGSFR.
- Новиков О. Н., Новицкая Л. А. Установка "Альфа-Эфир" для получения эфирных масел и гидролатов методом паровой экстракции // Новые и нетрадиционные растения и перспективы их использования. 2017. № S12. С. 291–292. EDN: ZCNOJL.
- Оганесян Э. Т., Нерсисян З. М., Пархоменко А. Ю. Изучение химического состава травы кориандра посевного // Химико-фармацевтический журнал. 2007. Т. 41, № 3. С. 30–34. EDN: TAKXSJ.
- Осмоловская Н. А., Паршикова В. Н., Степень Р. А. Влияние биоценотических и технологических факторов на выход и состав кедрового эфирного масла // Химия растительного сырья. 2001. № 4. С. 97–102. EDN: HWIMEB.
- Племенков В. В. Химия изопреноидов. Гл. 5. Монотерпены (продолжение) // Химия растительного сырья. 2006. № 3. С. 55–72. EDN: HDSBSU.
- Подлесный А. А. Способ подготовки плодов кориандра к извлечению эфирного масла // Научные труды Южного филиала Национального университета биоресурсов и природопользования Украины "Крымский агротехнологический университет". Сер.: Технические науки. 2012. № 150. С. 125–130. EDN: TAGCRZ.
- Пономарева Е. И., Молохова Е. И., Холов А. К. Применение эфирных масел в фармации // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 4. С. 567. EDN: UDXCBP.
- Сергеева И. Ю., Аншуков А. В., Рябоконева Л. А., Мухлынина Е. А. [и др.]. Изучение влияния водного экстракта лебеды садовой *Atriplex hortensis* L. при адаптации к физическим стрессорным нагрузкам в модели *in vivo* // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Сер.: Пищевые и биотехнологии. 2024. Т. 12, № 1. С. 76–89. DOI: <https://doi.org/10.14529/food240109>. EDN: HAYFYJ.
- Способ получения кориандрового эфирного масла : пат. Рос. Федерация 2417254 / Тарасов В. Е., Бондаренко Е. Ю., Браславец Д. С. № 2010100414/13 ; заявл. 11.01.2010 ; опубл. 27.04.2011, Бюл. № 12.
- Ahmad R., Ahmad N., Shehzad A. Solvent and temperature effects of accelerated solvent extraction (ASE) with Ultra-high pressure liquid chromatography (UHPLC-PDA) technique for determination of Piperine and its ICP-MS analysis // Industrial Crops and Products. 2019. Vol. 136. P. 37–49. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.04.016>.
- An Q., Ren J. N., Li X., Fan G. [et al.]. Recent updates on bioactive properties of linalool // Food Functions. 2021. Vol. 12. P. 10370–10389. DOI: <https://doi.org/10.1039/D1FO02120F>.
- Anjum F., Muhammad S., Siddiqui B. N. Stepping towards essential oil extraction technology: Prospects and challenges for aromatic growers in Northern Punjab, Pakistan // Journal of Agriculture and Food. 2024. Vol. 5, N 2. P. 1–18. URL: [https://jaf.su.edu.pk/uploads/journals/Jaf5\(2\)5\\_\(1\)2.pdf](https://jaf.su.edu.pk/uploads/journals/Jaf5(2)5_(1)2.pdf).
- Bhusnure O. G., Gholve S. B., Giram P. S., Warad T. A. [et al.]. Green approaches for the industrial production of active pharmaceutical ingredients // World Journal of Pharmaceutical Research. 2015. Vol. 4, Iss. 12. P. 629–648.
- Carvalho D., Pinho C., Oliveira R., Moreira F. [et al.]. Chromatographic methods developed for the quantification of quercetin extracted from natural sources: Systematic review of published studies from 2018 to 2022 // Molecules. 2023. Vol. 28, Iss. 23. Article number: 7714. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules28237714>.
- Dashtian K., Kamalabadi M., Ghoorchian A., Ganjali M. R. [et al.]. Integrated supercritical fluid extraction of essential oils // Journal of Chromatography A. 2024. Vol. 1733. Article number: 465240. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2024.465240>.
- Faehnrich B., Franz C., Nemaz P., Kaul H.-P. Medicinal plants and their secondary metabolites – State of the art and trends in breeding, analytics and use in feed supplementation – With special focus on German chamomile // Journal of Applied Botany and Food Quality. 2021. Vol. 94. P. 61–74. DOI: <https://doi.org/10.5073/JABFQ.2021.094.008>.
- Fan M., Yuan S., Li L., Zheng J. [et al.]. Application of terpenoid compounds in food and pharmaceutical products // Fermentation. 2023. Vol. 9, Iss. 2. Article number: 119. DOI: <https://doi.org/10.3390/fermentation9020119>.
- Herrero M., Mendiola J. A., Cifuentes A., Ibañez E. Supercritical fluid extraction: Recent advances and applications // Journal of Chromatography A. 2010. Vol. 1217, Iss. 16. P. 2495–2511. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2009.12.019>.
- Illés V., Daood H. G., Perneczki S., Szokonya L. [et al.]. Extraction of coriander seed oil by CO<sub>2</sub> and propane at super- and subcritical conditions // The Journal of Supercritical Fluids. 2000. Vol. 17, Iss. 2. P. 177–186. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0896-8446\(99\)00049-2](https://doi.org/10.1016/S0896-8446(99)00049-2).



- Karunanithi S., Gupta R. K., Guha P., Srivastav P. P. Exploring the effects of diverse extraction methods on nanoemulsion formulation using betel leaf essential oil: Assessing antibacterial efficacy against pathogenic microorganisms // *Food and Humanity*. 2024. Vol. 2. Article number: 100267. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foohum.2024.100267>.
- Patil P. D., Patil S. P., Kelkar R. K., Patil N. P. [et al.]. Enzyme-assisted supercritical fluid extraction: An integral approach to extract bioactive compounds // *Trends in Food Science & Technology*. 2021. Vol. 116. P. 357–369. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.07.032>.
- Stefanaki A., van Andel T. Mediterranean aromatic herbs and their culinary use // *Aromatic Herbs in Food. Bioactive Compounds, Processing, and Applications* / ed.: C. M. Galanakis // Academic Press, 2021. P. 93–121. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822716-9.00003-2>.
- Tripathy S., Verma D. K., Thakur M., Chakravorty N. [et al.]. Recent trends in extraction, identification and quantification methods of *Centella asiatica* phytochemicals with potential applications in food industry and therapeutic relevance: A review // *Food Bioscience*. 2022. Vol. 49. Article number: 101864. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101864>.
- Zeković Z., Pavlić B., Cvetanović A., Đurović S. Supercritical fluid extraction of coriander seeds: Process optimization, chemical profile and antioxidant activity of lipid extracts // *Industrial Crops and Products*. 2016. Vol. 94. P. 353–362. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.09.008>.

## References

- Bochkarev, N. I., Zelentsov, S. V., Moshnenko, E. V. 2014. Morphology, taxonomy, breeding methods and characteristics of coriander varieties (review). *Oil Crops*, 2(159–160), pp. 17–195. EDN: TJFWTZ. (In Russ.)
- Efremov, A. A. 2013. Method of exhaustive hydrosteam distillation in obtaining essential oils of wild plants. *Advances in Modern Natural Science*, 7, pp. 88–94. EDN: QBSIOR. (In Russ.)
- Ivakhnov, A. D., Skrebets, T. E., Bogdanov, M. V., Bogolitsin, K. G. 2013. Production of rapeseed oil by supercritical carbon dioxide. *Chemistry of plant raw material*, 3, pp. 137–141. EDN: RUNDID. (In Russ.)
- Kovalenko, N. A., Akhramovich, T. I., Supichenko, G. N., Savichko, T. V. 2019. Antibacterial activity of hyssop essential oils. *Chemistry of Plant Raw Material*, 1, pp. 191–199. DOI: <https://doi.org/10.14258/jcprm.2019014083>. EDN: ZACFJR. (In Russ.)
- Lacerus, L. A., Baryshnikov, A. Yu. 2010. Plant terpenoids as possible antitumor agents. *Russian Journal of Biotherapy*, 9(1), pp. 3–8. EDN: QZSKXR. (In Russ.)
- Mustafaev, S. K., Pelipenko, T. V., Usov, A. P., Kalienko, E. A. 2016. Yield and composition of essential oil from split coriander fruits. *Scientific Journal of KubSAU*, 118. EDN: VWPTMP. (In Russ.)
- Naumova, E. M., Borisova, O. N., Oleinikova, M. M., Venevtseva, Yu. L. 2012. Phytotherapy with traditional Chinese medicine. *Journal of New Medical Technologies*, 19(1), pp. 90–92. EDN: OYGSFR. (In Russ.)
- Novikov, O. N., Novitskaya, L. A. 2017. The alpha-ether installation for obtaining essential oils and hydrolates by steam extraction. *New and Unconventional Plants and Prospects for Their Use*, S12, pp. 291–292. EDN: ZCNOJL. (In Russ.)
- Oganesyan, E. T., Nersesyan, Z. M., Parkhomenko, A. Yu. 2007. Study of the chemical composition of coriander herb. *Pharmaceutical Chemistry Journal*, 41(3), pp. 30–34. EDN: TAKXSJ. (In Russ.)
- Osmolovskaya, N. A., Parshkova, V. N., Stepen, R. A. 2001. Influence of biocenotic and technological factors on the yield and composition of cedar essential oil. *Chemistry of Plant Raw Material*, 4, pp. 97–102. EDN: HWIMEB. (In Russ.)
- Plemenkov, V. V. 2006. Chemistry of isoprenoids. Chapter 5. Monoterpenes (continued). *Chemistry of Plant Raw Material*, 3, pp. 55–72. EDN: HDSBSU. (In Russ.)
- Podlesny, A. A. 2012. Method for preparing coriander fruits for extracting essential oil. Scientific Works of the Southern Branch of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine "Crimean Agrotechnological University". Series: Technical Sciences, 150, pp. 125–130. EDN: TAGCRZ. (In Russ.)
- Ponomareva, E. I., Molokhova, E. I., Kholov, A. K. 2015. Use of essential oils in pharmacy. *Modern Problems of Science and Education*, 4, p. 567. EDN: UDXCBP. (In Russ.)
- Sergeeva, I. Yu., Anshukov, A. V., Ryabokoneva, L. A., Mukhlynina, E. A. et al. 2024. Study of the effect of aqueous extract of garden orach *Atriplex hortensis* L. during adaptation to physical stress loads in an in vivo model. *Bulletin of the South Ural State University Series Food and Biotechnology*, 12(1), pp. 76–89. DOI: <https://doi.org/10.14529/food240109>. EDN: HAYFYJ. (In Russ.)
- Tarasov, V. E., Bondarenko, E. Yu., Braslavets, D. S. 2011. Method for obtaining coriander essential oil. State Educational Institution of Higher Professional Education. Russian Federation, Pat. 2417254. (In Russ.)
- Ahmad, R., Ahmad, N., Shehzad, A. 2019. Solvent and temperature effects of accelerated solvent extraction (ASE) with Ultra-high pressure liquid chromatography (UHPLC-PDA) technique for determination of Piperine and its ICP-MS analysis. *Industrial Crops and Products*, 136, pp. 37–49. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.04.016>.

- An, Q., Ren, J. N., Li, X., Fan, G. et al. 2021. Recent updates on bioactive properties of linalool. *Food Functions*, 12, pp. 10370–10389. DOI: <https://doi.org/10.1039/D1FO02120F>.
- Anjum, F., Muhammad, S., Siddiqui, B. N. 2024. Stepping towards essential oil extraction technology: Prospects and challenges for aromatic growers in Northern Punjab, Pakistan. *Journal of Agriculture and Food*, 5(2), pp. 1–18. URL: [https://jaf.su.edu.pk/uploads/journals/Jaf5\(2\)5\\_\(1\)2.pdf](https://jaf.su.edu.pk/uploads/journals/Jaf5(2)5_(1)2.pdf).
- Bhusnure, O. G., Gholve, S. B., Giram, P. S., Warad, T. A. et al. 2015. Green approaches for the industrial production of active pharmaceutical ingredients. *World Journal of Pharmaceutical Research*, 4(12), pp. 629–648.
- Carvalho, D., Pinho, C., Oliveira, R., Moreira, F. et al. 2023. Chromatographic methods developed for the quantification of quercetin extracted from natural sources: Systematic review of published studies from 2018 to 2022. *Molecules*, 28(23). Article number: 7714. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules28237714>.
- Dashtian, K., Kamalabadi, M., Ghoorchian, A., Ganjali, M. R. et al. 2024. Integrated supercritical fluid extraction of essential oils. *Journal of Chromatography A*, 1733. Article number: 465240. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2024.465240>.
- Faehnrich, B., Franz, C., Nemaz, P., Kaul, H.-P. 2021. Medicinal plants and their secondary metabolites – State of the art and trends in breeding, analytics and use in feed supplementation – With special focus on German chamomile. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 94, pp. 61–74. DOI: <https://doi.org/10.5073/JABFQ.2021.094.008>.
- Fan, M., Yuan, S., Li, L., Zheng, J. et al. 2023. Application of terpenoid compounds in food and pharmaceutical products. *Fermentation*, 9(2). Article number: 119. DOI: <https://doi.org/10.3390/fermentation9020119>.
- Herrero, M., Mendiola, J. A., Cifuentes, A., Ibañez, E. 2010. Supercritical fluid extraction: Recent advances and applications. *Journal of Chromatography A*, 1217(16), pp. 2495–2511. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2009.12.019>.
- Illés, V., Daood, H. G., Perneczki, S., Szokonya, L. et al. 2000. Extraction of coriander seed oil by CO<sub>2</sub> and propane at super- and subcritical conditions. *The Journal of Supercritical Fluids*, 17(2), pp. 177–186. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0896-8446\(99\)00049-2](https://doi.org/10.1016/S0896-8446(99)00049-2).
- Karunanithi, S., Gupta, R. K., Guha, P., Srivastav, P. P. 2024. Exploring the effects of diverse extraction methods on nanoemulsion formulation using betel leaf essential oil: Assessing antibacterial efficacy against pathogenic microorganisms. *Food and Humanity*, 2. Article number: 100267. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fooHum.2024.100267>.
- Patil, P. D., Patil, S. P., Kelkar, R. K., Patil, N. P. et al. 2021. Enzyme-assisted supercritical fluid extraction: An integral approach to extract bioactive compounds. *Trends in Food Science & Technology*, 116, pp. 357–369. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.07.032>.
- Stefanaki, A., van Andel, T. 2021. Mediterranean aromatic herbs and their culinary use. In *Aromatic Herbs in Food. Bioactive Compounds, Processing, and Applications*. Ed.: C. M. Galanakis. Academic Press, pp. 93–121. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822716-9.00003-2>.
- Tripathy, S., Verma, D. K., Thakur, M., Chakravorty, N. et al. 2022. Recent trends in extraction, identification and quantification methods of *Centella asiatica* phytochemicals with potential applications in food industry and therapeutic relevance: A review. *Food Bioscience*, 49. Article number: 101864. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101864>.
- Zeković, Z., Pavlić, B., Cvetanović, A., Đurović, S. 2016. Supercritical fluid extraction of coriander seeds: Process optimization, chemical profile and antioxidant activity of lipid extracts. *Industrial Crops and Products*, 94, pp. 353–362. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.09.008>.

#### Сведения об авторах

**Рябоконева Лариса Алексеевна** – ул. Красная, 6, г. Кемерово, Россия, 650000;  
Кемеровский государственный университет, мл. науч. сотрудник;  
e-mail: [Lara.ryabokoneva22@mail.ru](mailto:Lara.ryabokoneva22@mail.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3282-9326>

**Larisa A. Ryabokoneva** – 6 Krasnaya Str., Kemerovo, Russia, 650000;  
Kemerovo State University, Junior Researcher;  
e-mail: [Lara.ryabokoneva22@mail.ru](mailto:Lara.ryabokoneva22@mail.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3282-9326>

**Сергеева Ирина Юрьевна** – ул. Красная, 6, г. Кемерово, Россия, 650000;  
Кемеровский государственный университет, д-р техн. наук, ст. науч. сотрудник,  
e-mail: [sergeeva.76@list.ru](mailto:sergeeva.76@list.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1686-0131>

**Irina Yu. Sergeeva** – 6 Krasnaya Str., Kemerovo, Russia, 650000;  
Kemerovo State University, Dr Sci. (Engineering), Senior Researcher;  
e-mail: [sergeeva.76@list.ru](mailto:sergeeva.76@list.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1686-0131>

**Марков Александр Сергеевич** – ул. Красная, 6, г. Кемерово, Россия, 650000;  
Кемеровский государственный университет, канд. техн. наук, доцент;  
e-mail: asm041@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3648-7557>

**Alexander S. Markov** – 6 Krasnaya Str., Kemerovo, Russia, 650000;  
Kemerovo State University, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor;  
e-mail: asm041@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3648-7557>

**Козлова Оксана Васильевна** – ул. Красная, 6, г. Кемерово, Россия, 650000;  
Кемеровский государственный университет, д-р техн. наук, профессор;  
e-mail: ms.okvk@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2960-0216>

**Oksana V. Kozlova** – 6 Krasnaya Str., Kemerovo, Russia, 650000;  
Kemerovo State University, Dr Sci. (Engineering), Professor;  
e-mail: ms.okvk@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2960-0216>

**Киселева Татьяна Федоровна** – ул. Красная, 6, г. Кемерово, Россия, 650000;  
Кемеровский государственный университет, д-р техн. наук, профессор;  
e-mail: kisseleva.tf@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1886-3544>

**Tatyana F. Kiseleva** – 6 Krasnaya Str., Kemerovo, Russia, 650000;  
Kemerovo State University, Dr Sci. (Engineering), Professor;  
e-mail: kisseleva.tf@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1886-3544>