

Исследование показателей качества жирных кислот, полученных при переработке soapstock по трехстадийной технологии

Александр Н. Остриков ¹	ostrikov27@yandex.ru	 0000-0002-2335-0017
Максим В. Копылов ¹	kopylov-maks@ya.ru	 0000-0003-2678-2613
Наталия И. Цапкина ^{1,2}	eco-agro12@mail.ru	 .
Анастасия В. Терёхина ¹	gorbatova.nastia@ya.ru	 0000-0003-4433-9615
Виталий Н. Василенко ¹	vvv_1977@mail.ru	 0000-0002-1547-9814

1 Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

2 ООО "Синтез-Ойл", Воронежская область, Репьевский район, село Репьевка, Торговый пер., д.11а, 396370, Россия

Аннотация. Из soapstock по комбинированной трехстадийной технологии, включающей три последовательных этапа: первый – омыление исходного сырья раствором гидроксида натрия, второй – высаливание хлоридом натрия; третий – двухэтапный гидролиз и разложение раствором сначала серной кислоты с концентрацией 10–12%, а затем серной кислотой с концентрацией 80–92%, были получены жирные кислоты. Были определены органолептические, физико-химические и другие показатели качества полученных при выявленных рациональных условиях жирных кислот. Установлено, что фракционный состав полученных жирных кислот соответствовал характеристикам жирных кислот светлых масел первого сорта, что свидетельствует о их высоком качестве. Жирные кислоты имеют следующие показатели: массовая доля влаги и летучих веществ – 1,8%, массовая доля общего жира – 97,1%, глубина расщепления олеиновой кислоты – 64,3%. Сравнительный анализ физико-химических показателей жирных кислот, полученных тремя способами: разложением серной кислотой, омылением и разложением серной кислотой и омылением, высаливанием и разложением серной кислотой показал, что концентрации основных жирных кислот (стеариновой, олеиновой, линолевой) кислоты, полученные третьим способом (омылением, высаливанием и разложением серной кислотой), были выше, чем полученные первыми двумя способами.

Ключевые слова: soapstock, жирные кислоты, омыление, высаливание, разложение, жирные кислоты, показатели качества, технология.

Study of quality indicators of fatty acids obtained during soapstock pro-cessing by three-stage technology

Aleksandr N. Ostrikov ¹	ostrikov27@yandex.ru	 0000-0002-2335-0017
Maksim V. Kopylov ¹	kopylov-maks@ya.ru	 0000-0003-2678-2613
Natalia I. Tsapkina ^{1,2}	eco-agro12@mail.ru	 .
Anastasia V. Terekhina ¹	gorbatova.nastia@ya.ru	 0000-0003-4433-9615
Vitalii N. Vasilenko ¹	vvv_1977@mail.ru	 0000-0002-1547-9814

1 Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

2 LLC "Sintez-Oil", 396370, Voronezh Region, Repyevka District, Repyovka Village, Torgovy Lane, 11a

Abstract. Fatty acids were obtained from soapstocks by a combined three-stage technology, which includes three consecutive stages: the first is saponification of the feedstock with a sodium hydroxide solution, the second is salting out with sodium chloride; the third is a two-stage hydrolysis and decomposition with a solution of sulfuric acid with a concentration of 10–12%, and then with sulfuric acid with a concentration of 80–92%. The organoleptic, physicochemical and other quality indicators of the fatty acids obtained under the rational conditions identified were determined. It was found that the fractional composition of the fatty acids obtained corresponded to the characteristics of fatty acids in first-grade light oils, indicating their high quality. The fatty acids have the following indicators: mass fraction of moisture and volatile substances – 1.8%, mass fraction of total fat – 97.1%, depth of oleic acid cleavage – 64.3%. Comparative analysis of the physicochemical indicators of fatty acids obtained by three methods: decomposition with sulfuric acid, saponification and decomposition with sulfuric acid and saponification, salting out and decomposition with sulfuric acid showed that the concentrations of the main fatty acids (stearic, oleic, linoleic acid) obtained by the third method (saponification, salting out and decomposition with sulfuric acid) were higher than those obtained by the first two methods.

Keywords: soapstocks, fatty acids, saponification, salting out, decomposition, fatty acids, quality indicators, technology.

Для цитирования

Остриков А.Н., Копылов М.В., Цапкина Н.И., Терёхина А.В., Василенко В.Н. Исследование показателей качества жирных кислот, полученных при переработке soapstock по трехстадийной технологии // Вестник ВГУИТ. 2025. Т. 87. № 1. С. 54–63. doi:10.20914/2310-1202-2025-1-54-63

For citation

Ostrikov A.N., Kopylov M.V., Tsapkina N.I., Terekhina A.V., Vasilenko V.N. Study of quality indicators of fatty acids obtained during soapstock pro-cessing by three-stage technology. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2025. vol. 87. no. 1. pp. 54–63. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2025-1-54-63

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Технологии переработки soapстоков растительных масел занимают большое внимание ученых, занимающихся проблемой комплексной переработки такого важного отхода масложировой промышленности, как soapстоки, так как именно они определяют эффективность производства и качество получаемого жирных кислот.

В работе [1] исследовали условия разложения хлопкового soapстока серной кислотой с предварительным гидролизом soapстока.

В работе [7] представлены результаты исследования трех способов получения жирных кислот из soapстока: обработка серной кислотой; омыление и кислотная обработка; омыление, промывка раствором хлорида натрия и кислотная обработка.

Недостатком исследования является отсутствие данных о влиянии параметров обработки soapстока на выход и качество жирных кислот, так как показатели жирных кислот влияют не только на качество и выход сложных эфиров, но и на рентабельность производства биодизельного топлива из жирных кислот. Кислотное расщепление soapстока в конце этапа нейтрализации позволяет извлекать свободных жирных кислот из мыл и способствует частичному гидролизу масла, тем самым увеличивая количество свободных жирных кислот в конечных кислых маслах, но все еще оставляя непрореагировавшие триглицериды.

В работе [12] исследован двухстадийный способ получения жирных кислот из soapстока с использованием омыления раствором едкого натра и разложения серной кислотой. Особенностью работы является изучение влияния условий омыления soapстока на основные показатели эффективности извлечения жирных кислот: выход и число нейтрализации. Образец soapстока получен в результате щелочной нейтрализации подсолнечного масла. Определены рациональные условия омыления: продолжительность 85 мин. и концентрация раствора едкого натра 45%. После омыления soapстока его подвергали разложению серной кислотой при следующих условиях: температура 90 °С, продолжительность 40 мин. При рациональных условиях омыления определяли выход жирных кислот 91,8% и число нейтрализации 187,1 мг КОН/г. Использование стадии омыления soapстока перед разложением приводит к улучшению качественных показателей и увеличению числа нейтрализации жирных кислот на 4%, выхода – на 16,2%. Результаты исследования позволяют получать жирные кислоты из soapстока по двухстадийной технологии с высоким выходом и числом нейтрализации.

Хамданов М.Б. [3] предложил технологию производства жирных кислот из хлопковых soapстоков. Предварительно хлопковый soapсток

подогревается и перемешивался с водой. Затем вводилось в зависимости от содержания мыла в soapстоке необходимое количество концентрированной серной кислоты. После достижения необходимой глубины разложения полученная масса разделялась на слои при отстаивании. Отделенный слой жировой смеси подвергается обработке серной кислотой. При этом образовавшийся soapстоочный жир подвергался двухстадийному расщеплению с отделением кислых вод после каждой стадии расщепления. В результате были получены жирных кислот с глубиной расщепления 94,8–95,6%, кислотным числом 168,3–175,0 мг КОН и содержанием влаги 0,35–0,51%.

В работе [13] исследуется получение жирных кислот из soapстока с использованием разложения серной кислотой. Определены рациональные условия обработки soapстока: температура 90–95 °С, продолжительность 40 мин. При этих условиях выход жирных кислот составляет 79,0%, число нейтрализации – 180,0 мг КОН/г. Но в работе рассматривается только один способ получения жирных кислот, данные о способах увеличения выхода жирных кислот отсутствуют.

Согласно [8], наиболее приемлемым способом удаления жирных кислот из soapстока является обработка серной кислотой.

В [10] представлены научные результаты по этерификации жирных кислот, полученных из soapстока, в котором содержание жирных кислот составило 65,5%, а содержание серной кислоты 10400 мг/кг. Для снижения содержания серной кислоты soapсток предварительно промывали раствором едкого натра, что увеличило выход и улучшило качество метиловых эфиров. Однако не показано влияние условий обработки soapстока раствором щелочи на качество и выход жирных кислот, а также на эксплуатационные характеристики метиловых эфиров.

Авторы [9] исследовали soapстоки, полученные при рафинации пальмового масла, в качестве сырья для получения этиловых эфиров. Сначала липидную часть soapстока омыляли 50% раствором гидроксида натрия, после чего натриевые соли использовали в производстве эфиров. Недостатком исследования является отсутствие данных о влиянии омыления soapстока на эффективность получения жирных кислот (выход и качество).

В [4] приведены данные о получении метиловых эфиров жирных кислот из соевого soapстока. Наиболее эффективным методом является полное омыление soapстока с последующей кислотной обработкой. Это позволяет получать жирные кислоты с концентрацией около 90%. Однако отсутствуют данные о влиянии условий омыления soapстока на качество жирных кислот и информация о подсолнечном soapстоке.

Перспективным является предварительное омыление soapstock с целью повышения эффективности извлечения жирных кислот. Однако отсутствуют данные о рациональных условиях проведения этого процесса, которые позволят получать жирные кислоты с максимальным выходом и улучшенным качеством. Поэтому нерешенным вопросом является определение рациональных условий двухстадийной переработки soapstock с использованием омыления, а также влияние предварительного омыления soapstock на качество и выход жирных кислот.

Перспективной технологией является переработка мыльного сырья в жирные кислоты путем омыления и последующего высаливания для повышения эффективности извлечения жирных кислот. Согласно литературным данным [5, 6, 7, 11, 13], имеется мало информации взаимосвязи между условиями высаливания омыленного мыльного сырья и выходом и качеством жирных кислот. Таким образом, исследование по определению рациональных условий получения жирных кислот из мыльного сырья, включая стадии омыления, высаливания и разложения серной кислотой, является актуальной научной задачей.

Материалы и методы

В качестве объекта исследования использовался soapstock из растительных (подсолнечного и рапсового) масел, который имел следующий состав: массовая доля общего жира 8–50%, в т. ч. мыл. 8–30%, нейтральный жир 1–20%, вода и различные нежировые компоненты, в том числе небольшие количества, не прореагировавшего NaOH, NaCl, красящих веществ, фосфатидов, белков и углеводов.

Soapstock по органолептическим и физико-химическим показателям соответствовал требованиям ГОСТа 30266–2017, приведенным в таблице 1.

В разработанной трехстадийной технологии переработки soapstock использовались следующие вспомогательные материалы:

– гидроксид натрия (NaOH – каустическая сода) для щелочного омыления гидратированного растительного масла;

– хлорид натрия (NaCl) для высаливания полученной после щелочного омыления массы в качестве выводящего агента;

– кислота серная техническая (H_2SO_4) для кислотного гидролиза мыльной сердцевины.

Таблица 1.

Характеристика soapstock

Table 1.

Characterization of the soapstock

Показатель	Характеристика Characteristic
Цвет Color	От желтого до темно-коричневого с оттенком цвета исходного масла Yellow to dark brown with a hint of the color of the original oil
Прозрачность Transparency	Не прозрачное Not transparent
Запах Smell	Специфический, свойственный soapstock, полученному из различных масел и жиров; допускается слабый запах продуктов разложения органических веществ Specific, characteristic of soapstock obtained from various oils and fats; A faint smell of decomposition products of organic substances is allowed
Консистенция при 20 °C Consistency at 20 °C	Жидкая и мазеобразная Liquid and ointment-like
Кислотное число, мг KOH/г, не менее Acid number, mg KOH/g, not less than	80–180
Цветное число, мг йода, не более Colored number, mg iodine, not more than	60–90
Массовая доля общего жира, % не менее Mass fraction of total fat, % not less than	96
Массовая доля нейтрального жира, %, не менее Mass fraction of neutral fat, %, not less than	15,0
Массовая доля влаги и летучих веществ, %, не более Mass fraction of moisture and volatile substances, %, not more than	3
Температура застывания, °C, не выше Pour point, °C, not higher than	16
Массовая доля нежировых примесей, %, не более Mass fraction of non-fat impurities, %, not more than	1
Массовая доля сводных жирных кислот, %, не менее Mass fraction of consolidated fatty acids, %, not less than	40–90
Содержание серы, ppm, не более Sulphur content, ppm, not more than	100
Содержание фосфора, ppm, не более Phosphorus content, ppm, not more than	130

Используемые реагенты соответствовали требованиям ГОСТов: гидроксид натрия (каустическая сода) (NaOH) – ГОСТ 11078–78, хлорид натрия (NaCl) – ГОСТ Р 51574–2000, серная кислота (H₂SO₄) – ГОСТ 2184–77.

Для проведения исследований использовали следующие реагенты и материалы: спирт этиловый ректификованный, дистиллированная вода, гидроксид натрия, фенолфталеин, метиловый оранжевый, серная кислота, этиловый эфир, хлористый натрий.

Органолептические показатели жирных кислот, массовую долю влаги определяли стандартными методами. Были изучены физико-химические характеристики мыла: содержание мыла и жирных кислот в исходном мыльном растворе определяли по ГОСТ 5480–59, кислотное число – по ГОСТ 31933–2012, содержание неомыляемых веществ ГОСТ 5479–64, число омыления ГОСТ 5478–2014, перекисное число ГОСТ Р 51487–99, концентрацию водородных ионов измеряли с помощью ионометра марки И-160МИ, массовую долю жирных кислот определяли методом жидкостной хроматографии. Мыла имели следующие показатели: цвет – от темно-коричневого до

светло-коричневого, консистенция при 20 °С – текучая маслообразная жидкость темного цвета со специфическим запахом. При этом технические характеристики мыла были следующие: кислотное число, мг КОН/г – от 60 до 170; средний состав жирных кислот мыла: C₁₄–1,62%, C₁₆–46,8%, C₁₈–21,4%; средняя молекулярная масса 276; титр – от 0 до 10°С; массовая доля неомыляемых веществ – 2,0%; содержание свободных жирных кислот (в пересчете на олеиновую кислоту) – 46,82%.

Массовая доля общего жира, массовая доля жирных кислот определяются стандартными методами согласно ТУ 10–04–02–80–9.

Число нейтрализации НЧ рассчитывается по формуле:

$$НЧ = \frac{V \cdot 28,05 \cdot K}{P}, \quad (1)$$

где V – количество см³ 0,5 Н. раствора гидроксида калия, используемого для титрования; 28,05 – титр ровно 0,5 Н раствора КОН, умноженный на 1000; K – поправка к титру 0,5 н. раствора гидроксида калия; P – доля жирных кислот, г.

Качественные показатели мыла приведены в таблице 2.

Таблица 2.

Качественные показатели мыла

Table 2.

Qualitative indicators of soapstock

Показатель Index	Характеристики Characteristics
Цвет Color	Коричневый Brown
Консистенция при температуре 20 °С Consistency at 20 °С	Пастообразная Paste-like
Запах Smell	Характерный для мыла подсолнечного масла Characteristic of sunflower oil soapstock
Массовая доля влаги и летучих веществ, % Mass fraction of moisture and volatile substances, %	15,4
Массовая доля общего жира, % Mass fraction of total fat, %	71,9
Массовая доля жирных кислот, % Mass fraction of fatty acids, %	64,5
Массовая доля нейтральных жиров, % Mass fraction of neutral fats, %	7,4

Исследование химического состава исходного мыла проводили в соответствии с ГОСТ 31663–2012 (Масла растительные и жиры животные. Определение методом газовой хроматографии массовой доли метиловых эфиров жирных кислот), который соответствует международному стандарту ISO 5508:1990 Animal and vegetable fats and oils — Analysis by gas chromatography of methyl esters of fatty acids.

Результаты

Для снижения потерь жирных кислот и сокращения количества сточных вод, была разработана трехстадийная технология получения жирных кислот из мыла (рисунок 1) включающая в свой состав [2]:

– щелочное омыление гидратированного растительного масла раствором гидроксида

натрия концентрацией 30–45% в течение 240 мин при температуре 90–95 °С до pH 10–11 при перемешивании до получения мыльного клея с содержанием щелочи 0,2–0,3%;

– высаливание полученной массы хлоридом натрия концентрацией 16–20% в течение 75–80 мин и последующее разделение путем отстаивания полученной массы в течение 2 часов для разделения на три слоя – нижний – мыльная щелочь, средний – клеевое мыло, верхний – мыльная сердцевина;

– кислотный гидролиз мыльной сердцевины в два этапа:

а) на первом этапе – серной кислотой с концентрацией 10–12% при температуре гидролиза 110–115 °С в течение 40 мин;

б) на втором этапе – серной кислотой с концентрацией 80–92% при температуре разложения

90 °С в течение 85 мин до pH 2,0–2,5 при перемешивании массы до полного разложения мыла,

– отстаивание в течение 2 часов для отделения второй сульфатной воды;

– полученные жирные кислоты промывают водным конденсатом и подвергают дистилляции до полного отсутствия серной кислоты и сульфата натрия.

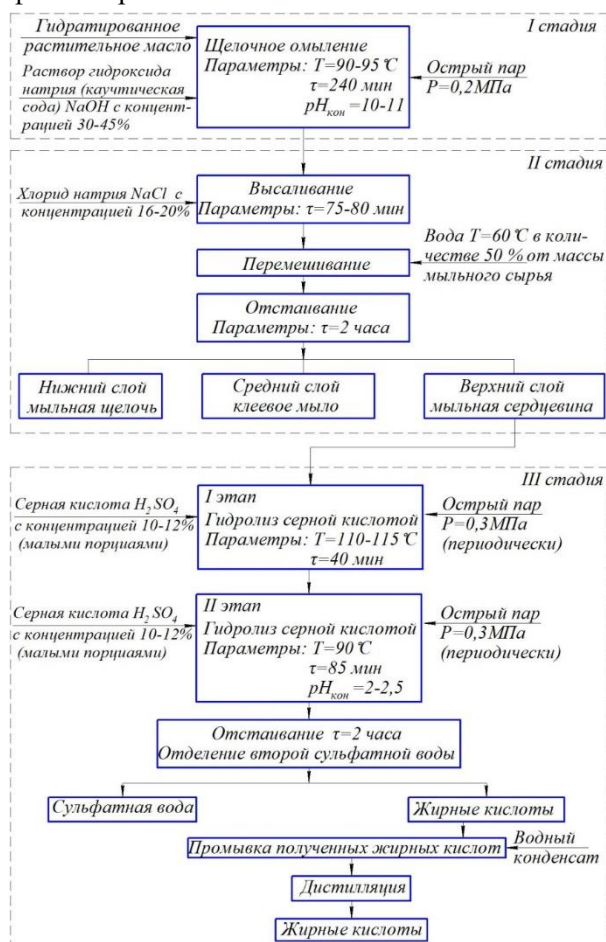


Рисунок 1. Трехстадийная технология получения жирных кислот из soapstocks

Figure 1. Three-stage technology of fatty acids production from soapstocks

Отличительными признаками способа являются последовательность стадий технологии и технологические режимы процессов.

Жирно-кислотный состав подсолнечного и рапсового soapstocka представлен в таблицах 3 и 4.

Определены органолептические и физико-химические показатели жирных кислот (таблица 5).

Определены качественные показатели жирных кислот, полученных при установленных рациональных условиях (таблица 6).

Фракционный состав жирных кислот растительных масел выполнен испытательной лабораторией ООО «ИЛ Тест-Пушино» приведен (Приложение 1) и приведен в таблица 7.

Таблица 3.

Жирно-кислотный состав подсолнечного soapstocka

Table 3.

Жирно-кислотный состав подсолнечного soapstocka

Жирная кислота Fat acid	Массовая доля жирной кислоты, (% к сумме жирных кислот) Mass fraction of fatty acid, (% of total fatty acids)
C14:0 миристиновая myristic	До 0,2
C16:0 пальмитиновая palmitic	5,0–7,6
C16:1 пальмитолеиновая palmitoleic	До 0,3
C18:0 стеариновая stearin	2,7–6,5
C18:1 олеиновая oleic	14,0–39,4
C18:2 линолевая linoleic	48,3–77,0
C18:3α линоленовая linolenic	До 0,3
C20:0 арахидиновая arachidic	До 0,5
C20:1 гондоиновая gondoin	До 0,3
C22:0 бегеновая bеген	0,3–1,5
C24:0 лигноцериновая lignocerin	До 0,5

Таблица 4.

Жирно-кислотный состав рапсового soapstocka (% к сумме жирных кислот) из семян с низким и высоким содержанием эруковой кислоты

Table 4.

Fatty acid composition of rapeseed soapstock (% to the sum of fatty acids) from seeds with low and high erucic acid content

Жирная кислота Fat acid	Массовая доля жирных кислот в маслах, % Mass fraction of fatty acid, %	
	с массовой долей эруковой кислоты до 5%	с массовой долей эруковой кислоты, более 5%
1	2	3
C14:0 миристиновая myristic	До 0,3	–
C16:0 пальмитиновая palmitic	2,5–6,5	1–6,5
C16:1 пальмитолеиновая palmitoleic	до 0,6	До 2,5
C18:0 стеариновая stearin	0,8–2,5	До 2,5
C18:1 олеиновая oleic	50,0–65,0	7,5–60,0
C18:2 линолевая linoleic	15,0–25,0	11,0–23,0
C18:3 линоленовая linolenic	7,0–15,0	5,0–12,0
C20:0 арахидиновая arachidic	0,1–2,5	До 3,0
C20:1 гондоиновая gondoin	0,1–4,0	3,5–6,0

Продолжение таблицы 4 | Continuation of table 4

1	2	3
C20:2 Эйкозadiensовая eicozadiene	до 1,0	0,5–1,0
C22:0 бегеновая begen	до 1,0	0,6–2,5
C22:1 эруковая erucic	до 5,0	Св. 5,0 – 60,0
C22:2 Докозadiensовая docosadiene	до 0,5	0,6 – 2,5
C24:0 лигноцериновая tetracosan lignocerin	до 0,2	до 2,0
C24:1 селачолеиновая selacholeic	до 0,5	До 3,5

Таблица 5.

Органолептические и физико-химические показатели жирных кислот

Table 5.

Organoleptic and physicochemical parameters of fatty acids

Показатель Index	Характеристика Characteristic
Прозрачность Transparency	Не прозрачное Not transparent
Запах Smell	Специфический резкий, свойственный данному продукту Specific sharp, inherent in this product
Кислотное число, мг КОН/г, не менее Acid number, mg KOH/g, not less than	80–180
Цветное число, мг йода, не более Colored number, mg iodine, not more than	60–90
Массовая доля общего жира, % не менее Mass fraction of total fat, % not less than	96
Массовая доля влаги и летучих веществ, %, не более Mass fraction of moisture and volatile substances, %, not more than	3
Температура застывания, °С, не выше Pour point, °C, not higher than	16
Массовая доля нежировых примесей, %, не более Mass fraction of non-fat impurities, %, not more than	1
Массовая доля сводных жирных кислот, %, не менее Mass fraction of consolidated fatty acids, %, not less than	40–90
Содержание серы, ppm, не более Sulphur content, ppm, not more than	100
Содержание фосфора, ppm, не более Phosphorus content, ppm, not more than	130
Холодный тест Cold test	не нормируется

Таблица 6.

Качественные показатели полученных жирных кислот

Table 6.

Qualitative parameters of the obtained fatty acids

Показатель Index	Знач. Value
Массовая доля влаги и летучих веществ, % Mass fraction of moisture and volatile substances, %	1,8
Массовая доля общего жира, % Mass fraction of total fat, %	97,0
Глубина расщепления, % олеиновой кислоты Depth of cleavage, % oleic acid	64,5
Наличие минеральных кислот Presence of mineral acids	нет

Таблица 7.

Фракционный состав жирных кислот растительных масел

Table 7.

Fractional composition of fatty acids of vegetable oils

Показатель Index	Содержание	Показатель Index	Содержание
C 4:0 масляная к-та, % C 4:0 oil content, %	<0,05	C 20:1 n9 cis гондоиновая к-та, % C 20:1 n9 cis gondoin acid, %	0,14
C 6:0 капроновая к-та, % C 6:0 nylon acid, %	<0,05	C 20:1 n11 cis гадолеиновая к-та, % C 20:1 n11 cis gadoleic acid, %	<0,05
C 8:0 каприловая к-та, % C 8:0 caprylic acid, %	0,17	C 20:1 cis сумма цис-изомеров, % C 20:1 cis sum of cis-isomers, %	0,14
C 10:0 каприновая к-та, % C 10:0 capric acid, %	0,19	C 20:2 n6 эйкозadiensовая к-та, % C 20:2 n6 eicozadiene acid, %	<0,05
C 10:1 деценовая / капролеиновая к-та, % C 10:1 decene/caproleic acid, %	<0,05	C 20:3 n3 cis 11,14,17 – эйкозатриеновая к-та, % C 20:3 n3 cis 11,14,17 – eicosatriene acid, %	<0,05
C 12:0 лауриновая к-та, % C 12:0 lauric acid, %	3,25	C 20:3 n6 cis дигомо-гамма-линоленовая к-та, % C 20:3 n6 cis dihomo-gamma-linolenic acid, %	<0,05
C 14:0 миристиновая к-та, % C 14:0 myristic acid, %	1,71	C 20:3 cis сумма цис-изомеров, % C 20:3 cis sum of cis-isomers, %	<0,05
C 14:1 миристолеиновая к-та, % C 14:1 myristoleic acid, %	<0,05	C 20:4 n3 cis 8,11,14,17 – эйкозатетраеновая к-та, % C 20:4 n3 cis 8,11,14,17 – eicosatetraene acid, %	<0,05
C 15:0 пентадекановая к-та, % C 15:0 pentadecanic acid, %	<0,05	C 20:4 n6 cis арахидоновая к-та, % C 20:4 n6 cis arachidonic acid, %	<0,05
C 15:1 цис-10-пентадеценная к-та, % C 15:1 cis10pentadecene value, %	<0,05	C 20:4 cis сумма цис-изомеров, % C 20:4 cis sum of cis-isomers, %	<0,05
C 16:0 пальмитиновая к-та, % C 16:0 palmitic acid, %	23,45	C 20:5 n3 эйкозапентаеновая к-та, % C 20:5 n3 eicosapentaenoic acid, %	<0,05

Показатель Index	Содержание	Показатель Index	Содержание
C 16:1 пальмитолеиновая к-та, % C 16:1 palmitoleic acid, %	0,14	C 20:4 бегеновая к-та, % C 20:4 begen acid, %	0,44
C 17:0 маргариновая к-та, % C 17:0 margarine acid, %	0,09	C 22:1 n9 cis эруковая к-та, % C 22:1 n9 cis erucic acid, %	<0,05
C 17:1 гептадеценовая к-та, % C 17:1 heptadecene acid, %	<0,05	C 22:1 n11 cis цетолениновая к-та, % C 22:1 n11 cis cetoleic acid, %	<0,05
C 18:0 стеариновая к-та, % C 18:0 stearic acid, %	5,45	C 22:1 cis сумма цис-изомеров, % C 22:1 cis sum of cis-isomers, %	<0,05
C 18:1 n9 cis олеиновая к-та, % C 18:1 n9 cis oleic acid, %	27,73	C 22:2 n6 докозацидиеновая к-та, % C 22:2 n6 docosadiene acid, %	<0,05
C 18:1 trans сумма транс-изомеров, % C 18:1 trans sum of trans isomers, %	0,72	C 22:4 n6 докозатетраеновая к-та, % C 22:4 n6 docosatetraene acid, %	<0,05
C 18:1 сумма цис- и транс-изомеров, % C 18:1 sum of cis- and trans-isomers, %	28,45	C 22:5 n3 докозапентаеновая к-та, % C 22:5 n3 docosapentaenoic acid, %	0,07
C 18:2 n6 cis линолевая к-та, % C 18:2 n6 cis linoleic acid, %	34,33	C 22:6 n3 докозагексаеновая к-та, % C 22:6 n3 docosahexaenoic acid, %	<0,05
C 18:2 n6 trans сумма транс-изомеров, % C 18:2 n6 trans sum of trans isomers, %	0,24	C 24:0 лигноцериновая к-та, % C 24:0 lignoceric acid, %	0,25
C 18:2 сумма цис- и транс-изомеров, % C 18:2 sum of cis- and trans-isomers, %	34,57	C 24:1 n9 нервоновая к-та, % C 24:1 n9 nerve acid, %	<0,05
C 18:3 n3 cis альфа-линоленовая к-та, % C 18:3 n3 cis alpha-linolenic acid, %	1,00	Суммарное содержание насыщенных жирных кислот, % Total content of saturated fatty acids, %	35,39
C 18:3 n6 cis гамма-линоленовая к-та, % C 18:3 n6 cis gamma-linolenic acid, %	<0,05	Суммарное содержание мононенасыщенных жирных кислот, % Total content of monounsaturated fatty acids, %	28,73
C 18:3 cis сумма цис-изомеров, % C 18:3 cis sum of cis-isomers, %	1,00	Суммарное содержание полиненасыщенных жирных кислот, % Total content of polyunsaturated fatty acids, %	35,64
C 18:3 trans сумма транс-изомеров, % C 18:3 trans sum of trans isomers, %	<0,05	Суммарное содержание транс-изомеров жирных кислот, % Total content of trans isomers of fatty acids, %	0,96
C 18:3 сумма цис- и транс-изомеров, % C 18:3 sum of cis- and trans-isomers, %	1,00	Суммарное содержание омега-3 жирных кислот, % Total content of omega3 fatty acids, %	1,07
C 18:4 n3 стеаридоновая к-та, % C 18:4 n3 stearidonic acid, %	<0,05	Суммарное содержание омега-6 жирных кислот, % Total content of omega6 fatty acids, %	34,33
C 20:0 арахидоновая к-та, % C 20:0 arachine acid, %	0,38	Другие жирные кислоты, % Other fatty acids, %	0,10

Сравнительный анализ физико-химических показателей жирных кислот, полученных тремя способами, а именно жирных кислот, полученных разложением серной кислотой; жирные кислоты, полученные омылением и разложением серной кислотой; жирные кислоты, полученные омылением, высаливанием и разложением серной кислотой.

кислотой (таблица 8) показал, что концентрации основных жирных кислот (стеариновой, олеиновой, линолевой) кислоты, полученные третьим способом (омылением, высаливанием и разложением серной кислотой), были выше, чем полученные первыми двумя способами.

Таблица 8.
Сравнительный анализ содержания жирных кислот

Table 8.

Comparative analysis of fatty acid content

Жирная кислота Fatty acid Пальмитиновая C16: Palmitic C16:	Массовая доля жирной кислоты, % Mass fraction of fatty acid, %		
	Жирные кислоты, полученные разложением серной кислотой Fatty acids obtained by decomposition of sulfuric acid	Жирные кислоты, полученные омылением и разложением серной кислотой Fatty acids obtained by saponification and decomposition with sulfuric acid	Жирные кислоты, полученные омылением, высаливанием и разложением серной кислотой Fatty acids obtained by saponification, precipitation and decomposition with sulfuric acid
Пальмитолеиновая C16:1 Palmitoleic C16:1	0	1,0	1,2
Стеариновая C18:0 Stearic S18:0	0,7	0,4	0,4
Олеиновая C18:1 Oleic C18:1	6,9	6,0	5,5
Линолевая C18:2 Linole C18:2	37,4	35,4	33,5
Линоленовая C18:3 Linolenic C18:3	51,2	54,8	57
Арахидоновая C20:0 Arachinovaya S20:0	0	0	0
Гадолеиновая C20:1 Gadoleic C20:1	0,4	0,4	0,4
Бегеновая C22:0 Begenova S22:0	0,8	0,3	0,3
Лигноцериновая C24:0 Lignoceric C24:0	1,2	0,9	0,9
Миристиновая C14:0 Myristic C14:0	0,4	0,3	0,3
Итого Total	1,0	0,5	0,5
Жирная кислота Fatty acid	100,0	100,0	100,0

Заключение

1. Фракционный состав жирных кислот полученных растительных масел соответствуют характеристикам жирных кислот светлых масел первого сорта показывают высокое качество выделенных жирных кислот. Жирные кислоты имеют следующие показатели: массовая доля влаги и летучих веществ – 1,8%, массовая доля общего жира – 97,1%, глубина расщепления олеиновой кислоты – 64,3%. Жирные кислоты соответствуют жирным кислотам первого сорта,

полученным без омыления в соответствии с ГОСТ 5479–64. Масла растительные и натуральные жирные кислоты. Метод определения неомыляемых веществ.

2. Сравнительный анализ физико-химических показателей жирных кислот, полученных тремя способами, показал, что концентрации основных жирных кислот (стеариновой, олеиновой, линолевой) кислоты, полученные по трехстадийной технологии (омылением, высаливанием и разложением серной кислотой) были выше, чем полученные первыми двумя способами.

Литература

- 1 Абдикамалова А.Б., Шарипова А.Ш., Артикова Г.Н., Сейтназарова О.М., Исмаилов Б.М. Способы выделения жирных кислот из мыла // Современные инновации. 2016. № 6(8). С. 12–14.
- 2 Патент № 2836916. РФ, МПК C11B 11/00. Способ получения жирных кислот из soapstockов растительных масел / Остриков А.Н., Копылов М.В., Цапкина Н.И.; заявитель ФГБОУ ВО «ВГУИТ». № 2024125531; Заявл. 30.08.2024; Опубл. 24.03.2025. Бюл. № 9.
- 3 Хамдамов М.Б. Исследование возможности совершенствования технологии производства жирных кислот из хлопковых soapstockов // Multidisciplinary Scientific Journal. 2022. Т. 1. № 2. С. 385–388.
- 4 Alishahi A., Golmakani M., Niakousari M. Feasibility study of microwave assisted biodiesel production from vegetable oil refinery waste // European Journal of Lipid Science and Technology. 2021. Vol. 123. No. 9. P. 2000377.
- 5 Barbusinski K., Fajkis S., Szelag B. Optimization of soapstock splitting process to reduce the concentration of impurities in wastewater // Journal of Cleaner Production. 2021. Vol. 280. P. 124459.
- 6 Casali B., Brenna E., Parmeggiani F., Tessaro D., Tentori F. Enzymatic methods for the manipulation and valorization of soapstock from vegetable oil refining processes // Sustainable Chemistry. 2021. Vol. 2. No. 1. P. 74–91.
- 7 Demidov I., Sytnik N., Mazaeva V. Sunflower and problem alternative fuel in Ukraine // Naukovo-tekhnichnyi Biuleten Instytutu Oliynykh Kultur NAAN. 2014. № 21. С. 137–146.
- 8 Dunn R.O. Correlating the cloud point of biodiesel with its fatty acid methyl ester composition: Multiple regression analyses and the weighted saturation factor (wSF) // Fuel. 2021. Vol. 300. P. 120820.
- 9 Ferrero G.O., Faba E.M.S., Eimer G.A. Biodiesel production from alternative raw materials using a heterogeneous low ordered biosilicified enzyme as biocatalyst // Biotechnology for Biofuels. 2021. Vol. 14. No. 67. 11 p. <https://doi.org/10.1186/s13068-021-01917-x>
- 10 Mashhadi F., Habibi A., Varmira K. Enzymatic production of green epoxides from fatty acids present in soapstock in a microchannel bioreactor // Industrial Crops and Products. 2018. Vol. 113. P. 324–334.
- 11 Pantoja S., Mescouto V., Costa C., Zamian J., Rocha Filho G., Nascimento L. High-quality biodiesel production from Buriti (*Mauritia flexuosa*) oil soapstock // Molecules. 2018. Vol. 24. No. 1. P. 94.
- 12 Sytnik, N., Kunitsia, E., Kalyna, V. et al. Technology development of fatty acids obtaining from soapstock using saponification // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2021. Vol. 5. No.6. P. 16–23.
- 13 Sytnik, N., Kunitsia, E., Mazaeva, V. et al. Rational conditions of fatty acids obtaining by soapstock treatment with sulfuric acid // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2021. Vol. 4. No.6. P. 6–13.
- 14 Kalyna, V., Koshulko, V., Ilinska, O. et al. Development of soapstock processing technology to ensure waste-free and safe production // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2021. Vol. 6. No. 10(114). P. 23–29. doi: 10.15587/1729-4061.2021.245094
- 15 Haas M. J. Improving the economics of biodiesel production through the use of low value lipids as feedstocks: vegetable oil soapstock // Fuel processing technology. 2005. Vol. 86. No. 10. P. 1087–1096.
- 16 Корчагин В.И., Протасов А.В., Мельнова М.С., Черкасова Т.Ю., Кобзарева В.Ю. Лимитирующие факторы при получении прооксидантов с использованием смеси жирных кислот, выделенных из soapstockа // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2017. Т. 79. № 1. С. 222–226. doi: 10.20914/2310-1202-2017-1-222-226
- 17 Birta G., Levoshko N., Knysh V. et al. Identifying rational conditions for etherification of sunflower soapstock fatty acids // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2025. Vol. 2. No. 6(134). P. 6. doi: 10.15587/1729-4061.2025.326031
- 18 Shamuratov S.K.U., Karimov S.K., Baltaev U.S., Achilova S.S., Abdullayeva G.U.Q. Research into the study of saponification kinetics in the extraction of fatty acids from soapstock. Academic Research in Educational Sciences. 2022. No. 4. P. 807–811. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/research-into-the-study-of-saponification-kinetics-in-the-extraction-of-fatty-acids-from-soapstock>. (дата обращения: 04.06.2025).
- 19 Терёхина А.В., Щербаков М.Н. Исследование жирнокислотного состава растительных масел // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2023. Т. 85. № 1. С. 111–117. doi: 10.20914/2310-1202-2023-1-111-117

- 20 Хамдамов М.Б. Исследование возможности совершенствования технологии производства жирных кислот из хлопковых soapstockов // *Research and Education*. 2022. Т. 1. № 2. С. 385–388.
- 21 Панина Е.В., Королькова Н.В., Сорокина И.А., и др. Ресурсосберегающие технологии при производстве растительного масла // *Технологии и товароведение сельскохозяйственной продукции*. 2020. № 1. С. 74–81.
- 22 Буклагин Д.С. Глубокая переработка масличных культур // *Научно-информационное обеспечение инновационного развития АПК*. 2021. С. 42–48.

References

- 1 Abdikamalova A.B., Sharipova A.Sh., Artikova G.N., Seitnazarova O.M., Ismailov B.M. Methods of isolating fatty acids from soap. *Sovremennye Innovatsii*. 2016. no. 6(8). pp. 12–14. (in Russian).
- 2 Ostrikov A.N., Kopylov M.V., Tsapkina N.I. Method for obtaining fatty acids from vegetable oil soapstocks. Patent RU 2836916. 2025. Bulletin no. 9. Application no. 2024125531, filed 30.08.2024, published 24.03.2025. (in Russian).
- 3 Khamdamov M.B. Study of the possibilities of improving the technology for fatty acids production from cotton soapstocks. *Multidisciplinary Scientific Journal*. 2022. vol. 1. no. 2. pp. 385–388. (in Russian).
- 4 Alishahi A., Golmakani M., Niakousari M. Feasibility study of microwave assisted biodiesel production from vegetable oil refinery waste. *European Journal of Lipid Science and Technology*. 2021. vol. 123. no. 9. p. 2000377.
- 5 Barbusinski K., Fajkis S., Szeląg B. Optimization of soapstock splitting process to reduce the concentration of impurities in wastewater. *Journal of Cleaner Production*. 2021. vol. 280. p. 124459.
- 6 Casali B., Brenna E., Parmeggiani F., Tessaro D., Tentori F. Enzymatic methods for the manipulation and valorization of soapstock from vegetable oil refining processes. *Sustainable Chemistry*. 2021. vol. 2. no. 1. pp. 74–91. doi: 10.3390/suschem2010006.
- 7 Demidov I., Sytnik N., Mazaeva V. Sunflower and problem alternative fuel in Ukraine. *Naukovo-tekhnichnyi Biuleten Instytutu Oliynykh Kultur NAAN*. 2014. no. 21. pp. 137–146.
- 8 Dunn R.O. Correlating the cloud point of biodiesel with its fatty acid methyl ester composition: Multiple regression analyses and the weighted saturation factor (wSF). *Fuel*. 2021. vol. 300. p. 120820.
- 9 Ferrero G.O., Faba E.M.S., Eimer G.A. Biodiesel production from alternative raw materials using a heterogeneous low ordered biosilicified enzyme as biocatalyst. *Biotechnology for Biofuels*. 2021. vol. 14. no. 1.
- 10 Mashhadi F., Habibi A., Varmira K. Enzymatic production of green epoxides from fatty acids present in soapstock in a microchannel bioreactor. *Industrial Crops and Products*. 2018. vol. 113. pp. 324–334.
- 11 Pantoja S., Mescouto V., Costa C., Zamian J., Rocha Filho G., Nascimento L. High-quality biodiesel production from Buriti (*Mauritia flexuosa*) oil soapstock. *Molecules*. 2018. vol. 24. no. 1. p. 94.
- 12 Sytnik N., Kunitsia E., Kalyna V., Petukhova O., Ostapov K., Ishchuk V., Saveliev D., Kovalova T., Kostyrkin O., Petrova O. Technology development of fatty acids obtaining from soapstock using saponification. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. vol. 5. no. 6(113). pp. 16–23. doi: 10.15587/1729-4061.2021.241942.
- 13 Sytnik N., Kunitsia E., Mazaeva V., Kalyna V., Chernukha A., Vazhynskyi S., Yashchenko O., Maliarov M., Bogatov O., Bolibrukh B. Rational conditions of fatty acids obtaining by soapstock treatment with sulfuric acid. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. vol. 4. no. 6(112). pp. 6–13. doi: 10.15587/1729-4061.2021.236984.
- 14 Kalyna V., Koshulko V., Ilinska O., Tverdokhliebova N., Tolstousova O., Bliznjuk O., Gavrish T., Stankevych S., Zabrodina I., Zhulinska O. Development of soapstock processing technology to ensure waste-free and safe production. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. vol. 6. no. 10(114). pp. 23–29. doi: 10.15587/1729-4061.2021.245094.
- 15 Haas M.J. Improving the economics of biodiesel production through the use of low value lipids as feedstocks: vegetable oil soapstock. *Fuel Processing Technology*. 2005. vol. 86. no. 10. pp. 1087–1096.
- 16 Korchagin V.I., Protasov A.V., Melnova M.S., Cherkasova T.Yu., Kobzareva V.Yu. Limiting factors in obtaining prooxidants using a mixture of fatty acids extracted from soapstock. *Vestnik Voronezhskogo Gosudarstvennogo Universiteta Inzhenernykh Tekhnologiy*. 2017. vol. 79. no. 1. pp. 222–226. doi: 10.20914/2310-1202-2017-1-222-226. (in Russian).
- 17 Birta G., Levoshko N., Knysh V., Usenko S., Shostia A., Ovsianikova T., Falalieieva T., Marushko L., Semenkov Y., Zygin S. Identifying rational conditions for etherification of sunflower soapstock fatty acids. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2025. vol. 2. no. 6(134). p. 6. doi: 10.15587/1729-4061.2025.326031.
- 18 Shamuratov S.K.U., Karimov S.K., Baltaev U.S., Achilova S.S., Abdullayeva G.U.Q. Research into the study of saponification kinetics in the extraction of fatty acids from soapstock. *Academic Research in Educational Sciences*. 2022. no. 4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/research-into-the-study-of-saponification-kinetics-in-the-extraction-of-fatty-acids-from-soapstock>. (accessed 04.06.2025).
- 19 Teryokhina A.V., Shcherbakov M.N. Study of fatty acid composition of vegetable oils. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 2023. vol. 85. no. 1. pp. 111–117. doi: 10.20914/2310-1202-2023-1-111-117. (in Russian).
- 20 Khamdamov M.B. Study of the possibility of improving the technology of fatty acid production from cotton soapstocks. *Research and Education*. 2022. vol. 1. no. 2. pp. 385–388. (in Russian).
- 21 Pанина Е.В., Королькова Н.В., Сорокина И.А., et al. Resource-saving technologies in vegetable oil production. *Tekhnologii i Tovarovedenie Sel'skokhozyaistvennoi Produktsii*. 2020. no. 1. pp. 74–81. (in Russian).
- 22 Buklagin D.S. Deep processing of oil crops. *Nauchno-informatsionnoe Obespechenie Innovatsionnogo Razvitiya APK*. 2021. pp. 42–48. (in Russian).

Сведения об авторах

Александр Н. Остриков д.т.н., профессор, кафедра технологии жиров, процессов и аппаратов химических и пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, ostrikov27@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-2335-0017>

Максим В. Копылов к.т.н., доцент, кафедра технологии жиров, процессов и аппаратов химических и пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, kopylov-maks@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-2678-2613>

Наталья И. Цапкина аспирант, кафедра технологии жиров, процессов и аппаратов химических и пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, eco-agro12@mail.ru

Анастасия В. Терёхина к.т.н., доцент, кафедра технологии жиров, процессов и аппаратов химических и пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, gorbatova.nastia@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-4433-9615>

Виталий Н. Василенко д.т.н., профессор, зав. кафедрой, кафедра машин и аппаратов пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, vvn_1977@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-1547-9814>

Information about authors

Aleksandr N. Ostrikov Dr. Sci. (Engin.), professor, technology of fats, processes and devices of chemical and food production department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, ostrikov27@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-2335-0017>

Maksim V. Kopylov Cand. Sci. (Engin.), assistant professor, technology of fats, processes and devices of chemical and food production department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, kopylov-maks@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-2678-2613>

Natalia I. Tsapkina graduate student, technology of fats, processes and devices of chemical and food production department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, eco-agro12@mail.ru

Anastasia V. Terekhina Cand. Sci. (Engin.), assistant professor, technology of fats, processes and devices of chemical and food production department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, gorbatova.nastia@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-4433-9615>

Vitalii N. Vasilenko Doc. Sci. (Engin.), professor, head of the department, machines and apparatuses of food production department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, vvn_1977@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-1547-9814>

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 11/01/2025	После редакции 04/03/2025	Принята в печать 18/03/2025
Received 11/01/2025	Accepted in revised 04/03/2025	Accepted 18/03/2025