

DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2026-9-2-181-191>



Поступила 30.01.2026

Поступила после рецензирования 22.04.2026

Принята в печать 24.04.2026

© Ульрих Е. В., 2026

<https://www.fsjour.com/jour>

Научная статья

Открытый доступ

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ВЫДЕЛЕНИЯ ФРАКЦИИ СКВАЛЕНА ИЗ ЛЮПИНА БЕЛОГО

Ульрих Е. В.

Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: АННОТАЦИЯ

люпин белый,
экстракция, сквален,
липидная фракция,
хроматография,
спектроскопия,
сердечно-сосудистые
заболевания

Сквален представляет собой полиненасыщенный углеводородный тритерпен ($C_{30}H_{50}$), обладающий массой полезных свойств. Извлечение сквалена из дикорастущего люпина белого на сегодняшний день является экономически целесообразным и актуальным направлением в пищевой и фармакологической промышленности. Цель данного исследования — изучение процесса выделения фракции сквалена из люпина белого. Для исследований использовались липидная фракция образцов люпина, полученная методом экстракции по Сокслету. Определение содержания биологически активных веществ в исследуемом образце и поиск сквалена проводили с помощью метода газовой хроматографии. Визуализацию сквалена и сопутствующих веществ осуществляли с помощью химической детекции (окрашивание йодными парами). Установлено, что количество липидной фракции, выделенной из люпина белого, составляло $9,65 \pm 0,32\%$. Показано, что липидная фракция люпина белого содержит до 34,57 % сквалена, кампестерола — 10,24 %. Выявлено, что в исследуемом образце содержится 2-метилоктакозан (содержание относительно других компонентов 9,62 %), хенейкозан (содержание относительно других компонентов 8,33 %) и бета-ситостерол (содержание относительно других компонентов 8,99 %). Отмечено, что при экстракции в липидную фракцию перешел также люпеол (третерпеноид). Используя метод ВЭЖХ, удалось получить фракцию, содержащую чистый сквален. Установлено, что из липидной фракции люпина может быть выделен сквален при применении смеси, состоящей из 95 % этанола и 50 % КОН. Процесс включает многостадийную экстракцию системой гексан–вода, обработку полученной фазы сульфатом натрия и последующую очистку методом жидкостной хроматографии, что позволяет достичь степени чистоты 98 %. Предполагается, что выделенный из люпина белого сквален может использоваться для изготовления пищевых добавок и функциональных продуктов питания для профилактики сердечно-сосудистых заболеваний человека.

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 25-26-20129, <https://rscf.ru/project/25-26-20129/> «Разработка биологически активных добавок на основе сквалена для профилактики сердечно-сосудистых заболеваний моряков транспортного флота Калининградской области»).

Received 30.01.2026

Accepted in revised 22.04.2026

Accepted for publication 24.04.2026

© Ulrikh E. V., 2026

Available online at <https://www.fsjour.com/jour>

Original scientific article

Open access

STUDY OF THE PROCESS OF ISOLATION OF THE SQUALENE FRACTION FROM WHITE LUPINE

Elena V. Ulrikh

Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia

KEYWORDS:

white lupine,
extraction, squalene,
lipid fraction,
chromatography,
spectroscopy,
cardiovascular
diseases

ABSTRACT

Squalene is a polyunsaturated hydrocarbon triterpene ($C_{30}H_{50}$) with numerous beneficial properties. Extracting squalene from wild white lupine is currently economically feasible and a promising area for the food and pharmaceutical industries. The aim of this study was to investigate the process of isolating a squalene fraction from white lupine. The lipid fraction of lupine samples obtained by Soxhlet extraction was used for the research. Gas chromatography was used to determine the content of biologically active substances in the test sample and to detect squalene. Squalene and related substances were visualized using chemical detection (iodine vapor staining). The amount of lipid fraction isolated from white lupine was found to be $9.65 \pm 0.32\%$. The lipid fraction of white lupine was shown to contain up to 34.57 % squalene and 10.24 % campesterol. The test sample was found to contain 2-methyloctacosane (9.62 % relative to other components), heneicosane (8.33 % relative to other components), and beta-sitosterol (8.99 % relative to other components). Lupeol (a triterpenoid) was also noted to be present in the lipid fraction during extraction. Using HPLC, a fraction containing pure squalene was obtained. It has been established that squalene can be isolated from the lipid fraction of lupine using a mixture of 95 % ethanol and 50 % KOH. The process involves multi-stage extraction with the hexane–water system, treatment of the resulting phase with sodium sulfate, and subsequent purification by liquid chromatography, achieving a purity of 98 %. It is believed that squalene isolated from white lupine can be used to manufacture dietary supplements and functional foods for the prevention of human cardiovascular diseases.

FUNDING: The study was supported by a grant from the Russian Science Foundation (project No. 25-26-20129, <https://rscf.ru/project/25-26-20129/> “Development of biologically active additives based on squalene for the prevention of cardiovascular diseases in sailors of the transport fleet of the Kaliningrad Region”).

1. Введение

Сквален — полиненасыщенный углеводород, относящийся к тритерпенам ($C_{30}H_{50}$) и обладающий широким спектром полезных свойств. В очищенном состоянии он представляет собой бесцветную прозрачную жидкость без выраженного вкуса и запаха [1]. На-

звание вещества происходит от латинского «squalus», что означает «акула», так как печень этого морского животного содержит значительное количество сквалена. Особенно богата данным соединением печень глубоководных черных акул, которая состоит на 75 % из липидов. Помимо печени акулы сквален присутствует в оливковом

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Ульрих, Е. В. (2026). Изучение процесса выделения фракции сквалена из люпина белого. *Пищевые системы*, 9(2), 181–191. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2026-9-2-181-191>

FOR CITATION: Ulrikh, E. V. (2026). Study of the process of isolation of the squalene fraction from white lupine. *Food Systems*, 9(2), 181–191. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2026-9-2-181-191>

и амарантовом масле, а также в меньшей степени содержится в кукурузном масле и рисовых отрубях [2].

Растительные компоненты являются источником пищевых и биологически активных веществ. Как правило, они содержат в себе белки, липиды, пигменты, витамины. В частности, растительные масла, помимо триацилглицерина, включают также вторичные метаболиты, такие как стерины, токоферолы, полифенолы и сквален [3–5]. Несмотря на их незначительное содержание, они играют важную роль в физиологии человека [3]. Поэтому источником сквалена могут служить как масличные растения и их масла, так и различные злаковые и травяные культуры (Таблица 1). Сквален растительного происхождения имеет значительные преимущества перед скваленом животного происхождения. В частности, он не токсичен, более стабилен, не имеет цвета и запаха [6].

Отмечено, что гексановый экстракт листьев зеленого чая (*Camellia sinensis*) содержал сквален в количестве 29,2 г/кг экстракта [7].

Таблица 1. Содержание сквалена в растительном сырье
Table 1. Squalene content in the plant raw material

Растительный источник сквалена	Количество	Литература
Растительное масло амаранта	6300 мг/100 г	[8,9]
Оливковое масло	685,5 мг/100 г	[8,9]
Кукуруза	27,9–594 мг/100 г	[8,9,10]
Соевое масло	9,9 мг/100 г	[10]
Арахис	27,4 мг/100 г	[10]
Семена тыквы	89,0 мг/100 г	[11]
Пальмовое масло	250–540 мг/л	[12]
Листья зеленого чая	3682 мг/100 г	[13]
Рис		
Зародыши пшеницы	14,1 мг/100 г	[10]
Масло виноградных косточек		

Как видно из Таблицы 1, наибольшее содержание сквалена отмечено в растительном масле амаранта и в кукурузе, однако с коммерческой точки зрения его преимущественно получают из оливок и оливкового масла [10]. При этом следует отметить, что содержание сквалена в оливковом масле первого отжима составляет $491,0 \pm 15,55$ мг/100 г, а в рафинированном оливковом масле — $290,0 \pm 9,89$ мг/100 г [14,15]. Таким образом, можно сделать вывод, что процесс рафинации способствует удалению из растительных масел исследуемого вещества (сквалена) [4,15] и накоплению его в дистилляте растительных масел [16]. Поэтому дистилляты растительных масел можно использовать в качестве полноценного источника сквалена [12,14]. Так, например, в дистилляте пальмового масла содержание сквалена составляет 2400–13500 мг/л, что значительно выше, чем в пальмовом масле (от 250 до 540 мг/л) [12]. В работе Ченг и др. говорится о том, что пальмовое масло первого отжима содержит сквален в количестве 961,77 мг/100 г [16]. Поэтому так же, как и оливковое масло, пальмовое масло можно считать потенциальным источником сквалена. Однако выделение сквалена из растительных масел экономически невыгодно [15]. Содержание сквалена в дезодорированном дистилляте оливкового масла составляет от 3000 до 9970 мг/100 г, что примерно в 50–125 раз больше, чем в оливковом масле. Аналогичное явление наблюдалось для соевого масла, масла рисовых отрубей, подсолнечного масла, пальмового масла и рапсового масла. Это указывает на ценность производства сквалена из дезодорированного дистиллята, который может быть использован в качестве выгодного ресурса для повышения ценности промышленных отходов и побочных продуктов [14].

Также обращаем внимание читателя на то, что сквален разрушается в процессе термической обработки растительных масел, поэтому некоторые ученые исследовали содержание сквалена в термически обработанных маслах. Так, Kaloegeropoulos с соавтором установлено, что во фритюрных (термически обработанных) растительных маслах концентрация сквалена снижалась до значения 5,9 мг/100 г жира [17]. Авторы отметили, что в оливковом масле сквален не распадается в процессе кулинарной обработки [17]. Именно поэтому можно считать оливковое масло лучшим источником сквалена, даже несмотря на то, что в процессе рафинации оливкового масла немного снижается содержание сквалена [15].

Сквален участвует в биосинтезе холестерина, однако лишь около 10% поступающего в организм соединения трансформируется в этот компонент. Являясь составляющей липидного слоя человека (до 12–14%), сквален легко усваивается и может использоваться

клетками для различных физиологических процессов [18]. Синтез сквалена в организме происходит через сложные биохимические реакции, которые также способствуют формированию таких важнейших веществ, как коэнзим Q10 и тиреоидные гормоны. Нарушения этих процессов могут привести к метаболическим сбоям, связанным с рисками развития атеросклероза, сердечно-сосудистых заболеваний и инсульта [19].

Анаэробное дыхание характерно как для одноклеточных организмов (например, бактерий), так и для высших организмов в экстремальных условиях. В растительных системах данный механизм проявляется в условиях сниженного доступа кислорода, особенно при переувлажнении почвы. Исследования показали, что удобрения на основе нитратов способны повысить устойчивость растений к гипоксии [20]. Сложные процессы анаэробного дыхания представляют значительный интерес для науки благодаря своей универсальности и приспособительной роли в условиях недостаточного доступа кислорода [20]. Несмотря на это, многие аспекты участия сквалена в подобных реакциях продолжают оставаться предметом изучения.

Анаэробное дыхание чаще наблюдается у бактерий, где фумарат может выступать акцептором электронов [21]. Восстановительные процессы с участием фумарата обходят определенные этапы дыхательной цепи, формируя ионный градиент на мембране, который стимулирует энергетическое фосфорилирование. В качестве электронных доноров при этом процессе могут быть задействованы как органические, так и неорганические соединения. Интересно, что в современных исследованиях предполагается способность сквалена — ключевого компонента метаболизма животных и человека — играть роль электронного донора в анаэробных условиях. Как ненасыщенное соединение, подобно фумарату, сквален может восстанавливаться, образуя насыщенные производные. Такой процесс сопровождается восстановлением переносчиков электронов и ионов [21]. Подобное эндогенное анаэробное окисление включает реакцию гидрирования двойных связей, например, в жирных кислотах мембранных фосфолипидов.

Предполагается, что сквален был частью древних биохимических систем, существовавших на Земле более трех миллиардов лет назад. В те времена высокие температуры и состав земной атмосферы (метан и азот) создавали экстремальные условия. Археи и цианобактерии, появившиеся тогда, адаптировались к температурам до 100 °C и низким уровням кислорода благодаря наличию ациклических изопреноидов в их мембранах, что защищало их от окислительного стресса. Считается, что сквален как тритерпеновое соединение являлся ключевым субстратом анаэробных процессов [22].

Масло семян люпина белого является богатым источником сквалена и содержит до 8% от массы масла. Это делает его достойной заменой для производства сквалена вместо использования печени акулы [23]. Важно исследовать влияние сквалена на адаптационные механизмы при риске развития сердечно-сосудистых заболеваний у человека.

Целью данного исследования является изучение процесса выделения фракции сквалена из люпина белого.

2. Материалы и методы

2.1. Объекты исследования

Опытные образцы бобов люпина белого собирали исполнители проекта в августе 2025 года в Гурьевском районе Калининградской области (54°46'00" с.ш. и 20°36'00" в.д.) в период спелости семян. Образцы доставлялись в лабораторию в стручках. После доставки в лабораторию стручки шелушили, из бобов удаляли крупные посторонние примеси, а также поврежденные вредителями и подгнившие экземпляры. Основные примеси были представлены щепками, кусочками земли, камнями, примесями других культур и поврежденными вредителями бобами. Далее бобы люпина промывали водопроводной водой для удаления песка и оставшихся мелких примесей. Внешний вид свежесобранных в Калининградской области и вымытых бобов представлен на Рисунке 1.

Чистые бобы сушили на открытом воздухе и досушивали при температуре 40 °C в сушильном шкафу с конвекцией. Высушенные бобы хранились в бумажных пакетах в сухом и хорошо проветриваемом помещении. Непосредственно перед анализом бобы люпина измельчали роторным лабораторным измельчителем Fritsch Pulverisette 14 (Fritsch GmbH, Германия).

Для подбора и оптимизации режимов выделения сквалена из липидной фракции образцов люпина, собранных исполнителями, липидная фракция была получена методом экстракции по Сокслету (см. п. 2.2). Внешний вид липидной фракции представлен на Рисунке 2.



Рисунок 1. Внешний вид собранных и вымытых бобов люпина перед сушкой

Figure 1. Appearance of harvested and washed lupine beans before drying



Рисунок 2. Образец липидной фракции люпина для исследования

Figure 2. Sample of the lipid fraction of lupine for analysis

Известно, что для получения липидной фракции, богатой скваленом, применяют классические методы экстракции растительных масел (экстракция растворителями).

2.2. Экстракция липидной фракции из бобов люпина

При анализе литературных данных было установлено, что липиды бобов люпина имеют различную полярность, что затрудняет процесс их полного извлечения [24,25]. Для выделения жиров использовался метод, включающий экстракцию с помощью установки Сокслета EV6 All/14 (Gerhardt GmbH & Co. KG, Германия). В общем виде проводилась следующая процедура экстракции: в колбу вливали 200 мл растворителя (диэтиловый эфир); включали нагрев в аппарате Сокслета; экстракцию проводили заданное время (многократная экстракция сырья парами растворителя). По прошествии заданного времени экстракцию приостанавливали, содержимое колбы направляли на отгонку с использованием ротационного испарителя RV 8 V-C (IKA-Werke GmbH & Co. KG, Германия). Остаток на стенках колбы представлял собой целевой продукт — экстрагированные жиры, которые взвешивались на весах FA1204E (Joanlab, Китай) и направлялись на анализ. Продолжительность экстракции составляла 2 ч, температура 60 °С. В липидной фракции содержится искомый сквален [26], на основе которого планируется разработать рецептуры биологически активных добавок к продуктам питания моряков транспортного флота Калининградской области для профилактики сердечно-сосудистых заболеваний.

2.3. Определение биологически активных веществ и сквалена в липидной фракции

Для изучения содержания биологически активных веществ в исследуемом образце и поиска сквалена применяли метод газовой хроматографии, описанный в работе [27], с некоторыми модификациями. Разделение проводили на колонке Zebtron ZB-5MS 30 mL×0,25 mm ID×0,25 µm df. Жидкая фаза состояла из 5%-полисиларилен-95полидиметилсилоксан, температурные пределы: от минус 60 °С до 325/350 °С, газ-носитель — гелий с постоянным потоком — 1,0 мл/мин; анализ осуществлялся в изотермическом режиме, температура колонки — 250 °С; температура испарителя — 270 °С; температура ионного источника — 250 °С; температура интерфейса — 250 °С; напряжение на детекторе составляло 0,84 кВ; поток эмиссии — 60 µA; объем вводимой пробы — 5 µl [24]. Метод ре-

ализовывали на газовом хроматомасс-спектрометре GCMS-QP2010 Ultra / GCMS-QP2010 SE (Shimadzu, Япония). Визуализацию сквалена и сопутствующих веществ проводили с помощью УФ-детекции при длине волны 254 нм. Сквален, как и другие ненасыщенные соединения, поглощает УФ-свет на пластине с индикатором F254 (Azura UVD 2.1S, одноканальный детектор, Icon Scientific Inc., США). Он проявляется в виде темных пятен на зеленом флуоресцирующем фоне. Идентификацию сквалена выполняли путем сравнения коэффициента подвижности (Rf) пятен образца и стандарта.

Тонкослойную хроматографию (ТСХ) выполняли на алюминиевых пластинках со слоем силикагеля; в качестве подвижной фазы использовали элюент, нанесение проб осуществляли вручную (ООО «Имид», Краснодар, Россия), визуализацию пятен проводили в УФ-свете (254/365 нм) с использованием детектора Azura UVD 2.1S (Icon Scientific Inc., США). Сначала готовили подвижную фазу, состоящую из смеси гексан и хлороформ в соотношении 4:1. Далее на пластину для хроматографирования Sorbfil (Россия) наносили разметку карандашом. С помощью микропипетки на стартовую линию наносили 5 мкл раствора образца и раствора стандарта сквалена (LabStandart, Италия). Затем пластину помещали в камеру для ТСХ, предварительно насыщенную парами растворителей. Камеру закрывали и проводили хроматографирование. Длительность процесса составляла 15–20 минут. За это время фронт растворителя поднимается примерно на 80% от высоты пластины. Визуализацию сквалена и сопутствующих веществ проводили с помощью химической детекции (окрашивание йодными парами). Для этого пластину помещали в предварительно насыщенную парами йода камеру на несколько минут. Сквален проявился в виде желто-коричневого пятна. При определении сквалена (после того как фронт растворителя достиг отметки примерно 5,0–5,5 см) пластину извлекали из камеры и оставляли под вытяжкой до удаления остатков подвижной фазы. Далее с помощью УФ-анализатора (Azura UVD 2.1S, одноканальный детектор, Icon Scientific Inc., США) проводили детекцию и отмечали проявившиеся следы сквалена. Степень фракционирования и чистоты также оценивали методом тонкослойной хроматографии (алюминиевая подложка со слоем силикагеля, подвижный элюент, ручное нанесение пробы, визуализация пятен в УФ-свете (254/365 нм), ООО «Имид», Краснодар, Россия).

Метод ВЭЖХ для очистки и концентрирования сквалена выполняли с использованием хроматографа LC-20AB Shimadzu Prominence (Япония), оснащенного бинарным насосом и диодно-матричным детектором SPD-M20A, а также колонкой C18 (4,6×250 мм), заполненной стационарной фазой Separon SGX C18 (5 мкм). Фракционирование липидной фракции и очистку сквалена проводили в кратчайших условиях в подвижной фазе «гексан — ацетонитрил» при расходе 1 мл/мин. Разделение проводили при температуре 40 °С в режиме градиентного элюирования [28].

2.4. Выделение сквалена из липидной фракции люпина белого

В основу методов получения (выделения) сквалена взяли исследования зарубежных и отечественных авторов [29–31]. В качестве экстрагента использовали гексан. Липидную фракцию, содержащую сквален, растворяли в смеси, состоящей из 95 % этанола и 50 % КОН (соотношение спирта к щелочи 6:1). Согласно исследованиям, концентрация КОН 50 % является оптимальной для извлечения сквалена. Далее смесь кипятили с обратным холодильником «Веста» (300 мм, 29/32, SIMAX, Чехия) в течение 60 мин при температуре 60 °С при постоянном перемешивании. После реакцию смесь охлаждали до комнатной температуры. Далее полученную смесь переносили в делительную воронку и добавляли к смеси дистиллированную воду с гексаном в соотношении 1:1:2. После чего полученную смесь интенсивно встряхивали в течение 10–20 секунд и отстаивали до полного расслоения фаз (верхняя фаза — раствор сквалена в гексане; нижняя фаза — спиртовой раствор мыла и глицерина). Нижнюю фазу сливали отдельно, а затем снова подвергали экстракции в делительной воронке. Экстракцию проводили три раза, при каждом последующем экстрагировании количество добавляемого гексана к реакционной смеси уменьшали. Верхнюю фазу (раствор сквалена в гексане) после каждой экстракции сливали в объединенную пробу. Объединенный экстракт (пробу) промывали дистиллированной водой в объеме, равном объему органической фазы. Промывание проводили три раза до нейтральной реакции. Далее промытый раствор высушивали путем добавления к нему безводного сульфата натрия (Na₂SO₄) и фильтровали. На следующем этапе полученную фракцию направляли на очистку, которую проводили с помощью метода ВЭЖХ. Очистку выполняли с использованием хроматографа LC-20AB Shimadzu Prominence (Япония), оснащенного бинарным

насосом и диодно-матричным детектором SPD-M20A; разделение осуществляли на колонке C18 (4,6×250 мм), заполненной стационарной фазой Separon SGX C18 (5 мкм). Фракционирование липидной фракции и очистку сквалена проводили в изократических условиях в подвижной фазе «гексан — ацетонитрил» при расходе 1 мл/мин. Разделение проводили при температуре 40 °C в режиме градиентного элюирования.

Полный процесс получения и очистки сквалена представлен на Рисунке 3.

На заключительном этапе растворитель удаляли с помощью ротационного испарителя (Hei-VAP, Heidolph, Германия). Процесс выпаривания вели при температуре 40 °C.

Далее с целью идентификации и подтверждения чистоты сквалена проводили анализ полученного образца методами газовой хроматографии и ИК-Фурье спектроскопии.

Анализ сквалена методом газовой хроматографии проводили на газовом хромато-масс-спектрометре GCMS-QP2010 Ultra / GCMS-QP2010 SE (Shimadzu, Япония) с применением колонки Zebtron ZB-5MS 30 mL×0,25 mm ID×0,25 µm df. Жидкая фаза состояла из 5%-полисиларилена-95%-полидиметилсилоксана; температурные пределы: от минус 60 °C до 325–350 °C; газ-носитель — гелий с постоянным потоком 1,0 мл/мин. Анализ осуществляли в изотермическом режиме; температура колонки — 250 °C; температура испарителя — 270 °C; температура ионного источника — 250 °C; температура интерфейса — 250 °C; напряжение на детекторе составляло 0,84 кВ; поток эмиссии — 60 µA; объем вводимой пробы — 5 µl [24].

Спектры ИК-Фурье получали на спектрофотометре ФСМ 2202 (ООО «Гранат-Е», Россия) с разрешением 4 см⁻¹ при 20 сканах. Измерения проводили с использованием приставки НПВО-Алмаз (ООО «Гранат-Е», Россия). Небольшое количество образца помещали на приставку и прижимали. Спектр снимали трижды на трех разных кусках одного образца. Анализ выполняли в режиме поглощения в диапазоне от 4000 до 400 см⁻¹ при комнатной температуре (24 °C).

3. Результаты и обсуждение

В результате проведенных исследований установлено, что количество липидной фракции, выделенной из люпина белого, составляло 9,65 ± 0,32 % (в пересчете на абсолютно сухое вещество).

Результаты содержания сквалена и сопутствующих веществ в изучаемом образце представлены на Рисунке 4 и в Таблице 2.

Результаты, представленные на Рисунке 4 и в Таблице 2, показывают, что исследуемый образец характеризуется разнообразным составом, но при этом отмечено, что он содержит до 34,57 % сквалена, кампестерола 10,24 %. Также выявлено, что в исследуемом образце содержится 2-метилоктакозан (содержание относительно других компонентов 9,62 %), генэйкозан (содержание относительно других компонентов 8,33 %) и β-ситостерол (содержание относительно других компонентов 8,99 %). Отмечено, что при экстракции в липидную фракцию перешел также люпеол (тритерпеноид), который свойствен люпину, плодам оливы [32,33].

Результаты выделения липидной фракции, которая содержит чистый сквален, с помощью тонкослойной хроматографии представлены на Рисунке 5.

Результаты, представленные на Рисунке 5, показывают, что метод колоночной хроматографии позволяет разделить липидную фракцию на сопутствующие вещества и целевой продукт (сквален). При последующем анализе методом ВЭЖХ получена фракция, содержащая чистый сквален без примесных компонентов.

Данные Рисунка 6 и Таблицы 3 свидетельствуют о том, что многоступенчатая экстракция позволяет выделить сквален из липидной фракции со степенью очистки 96,65 %.

Результаты ИК-Фурье спектроскопии (Рисунок 7) показали, что интенсивные полосы в области 3000–2800 см⁻¹ относятся к валентным колебаниям С–Н алифатических цепей. Пики в области около 1600 см⁻¹ обусловлены колебаниями С=C-связей диеновой системы, характерной для сквалена и других алифатических углеводородов с несколькими двойными связями. В области 1200–700 см⁻¹ обычно наблюдаются слабые или среднеинтенсивные полосы скелетных колебаний для длинных алифатических цепей, что также наблюдается на полученном спектре.

Таким образом, в процессе реализации научно-исследовательской работы выделен сквален из липидной фракции. Установлено, что из липидной фракции люпина можно получить сквален со степенью чистоты 98 % при использовании смеси 95 % этанола и 50 % КОН. Далее проводится многостадийная экстракция системой гексан–вода, обработка полученной смеси сульфатом натрия, фильтрация и последующее разделение методом жидкостной хроматографии.

Многие исследователи в последнее время уделяют внимание методам выделения и очистки сквалена, в том числе из растительных источников [34–41].

Таблица 2. Результаты анализа состава изучаемого образца липидной фракции

Table 2. Results of the analysis of the composition of the studied lipid fraction sample

Номер пика	Время удерживания, мин	Наименование вещества	Содержание относительно других компонентов, %
1	31,60	Цис-9-гексадеценал	1,83
2	35,55	Гексакозан	2,32
3	36,33	Генэйкозан	4,57
4	38,04	6,9,12,15-докозатетраеновая кислота, метиловый эфир (CAS)	1,98
5	38,72	Сквален	34,57
6	40,09	2-метилоктакозан	9,62
7	40,90	Генэйкозан	8,33
8	42,33	Гексатриаконтан (CAS)	0,78
9	42,52	Холест-5-ен-3β-ил карбонат	6,60
10	43,12	Генэйкозан	2,93
11	44,38	Кампестерол	10,24
12	45,21	β-ситостерол	8,99
13	46,73	Люпеол	4,68
14	48,54	Стигмаст-4-и-3-один	1,62
15	49,42	Пентакозан	0,94

Таблица 3. Результаты анализа состава изучаемого образца липидной фракции

Table 3. Results of the analysis of the composition of the studied lipid fraction sample

Номер пика	Время удерживания, мин	Наименование вещества	Содержание относительно других компонентов, %
1	28,70	Гептадекан	1,24
2	31,97	Цис-9-гексадеценал	0,93
3	37,30	Пентакозановая кислота, метиловый эфир	1,18
4	37,50	Сквален	98

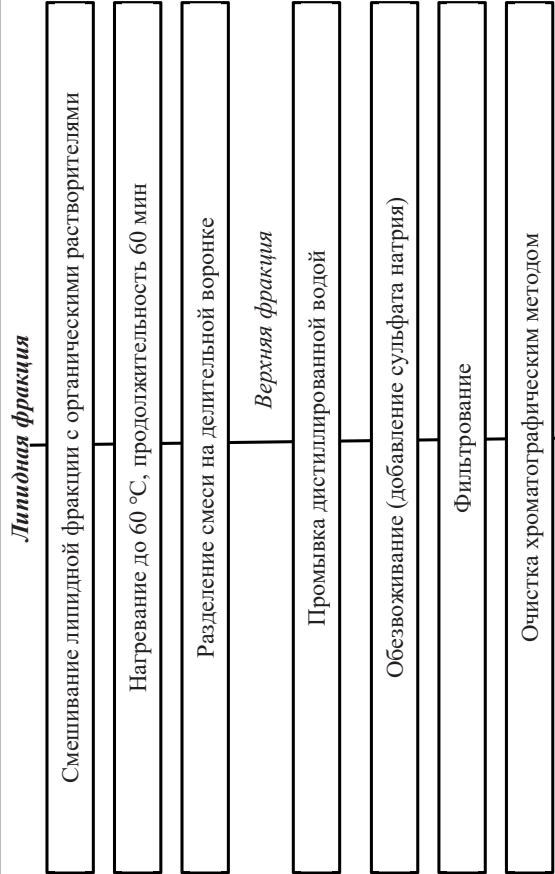


Рисунок 3. Схема получения (выделения) сквалена

Figure 3. Scheme of production (extraction) of squalene

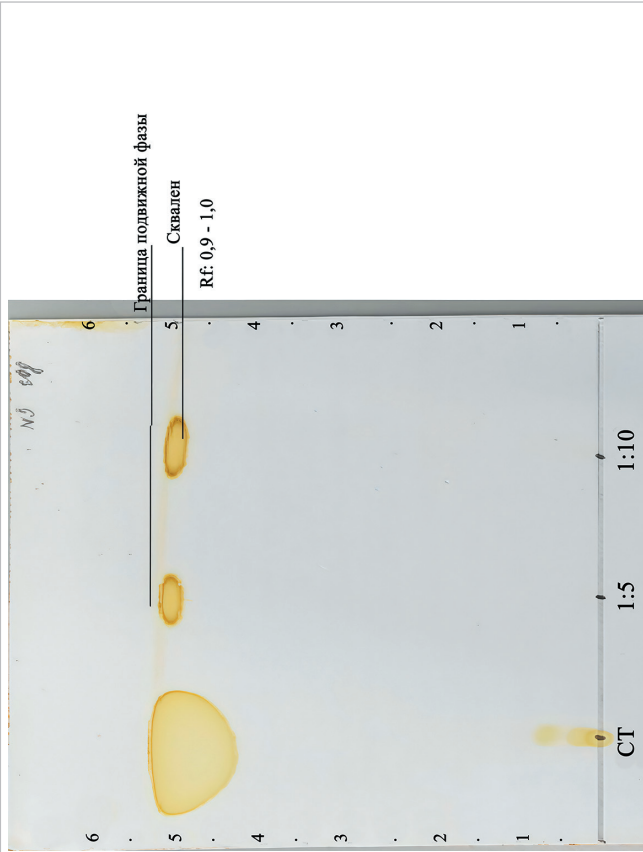


Рисунок 5. Результаты тонкослойной хроматографии фракции, содержащей сквален, полученной методом ВЭЖХ

Figure 5. Results of thin layer chromatography of the squalene-containing fraction, obtained by HPLC

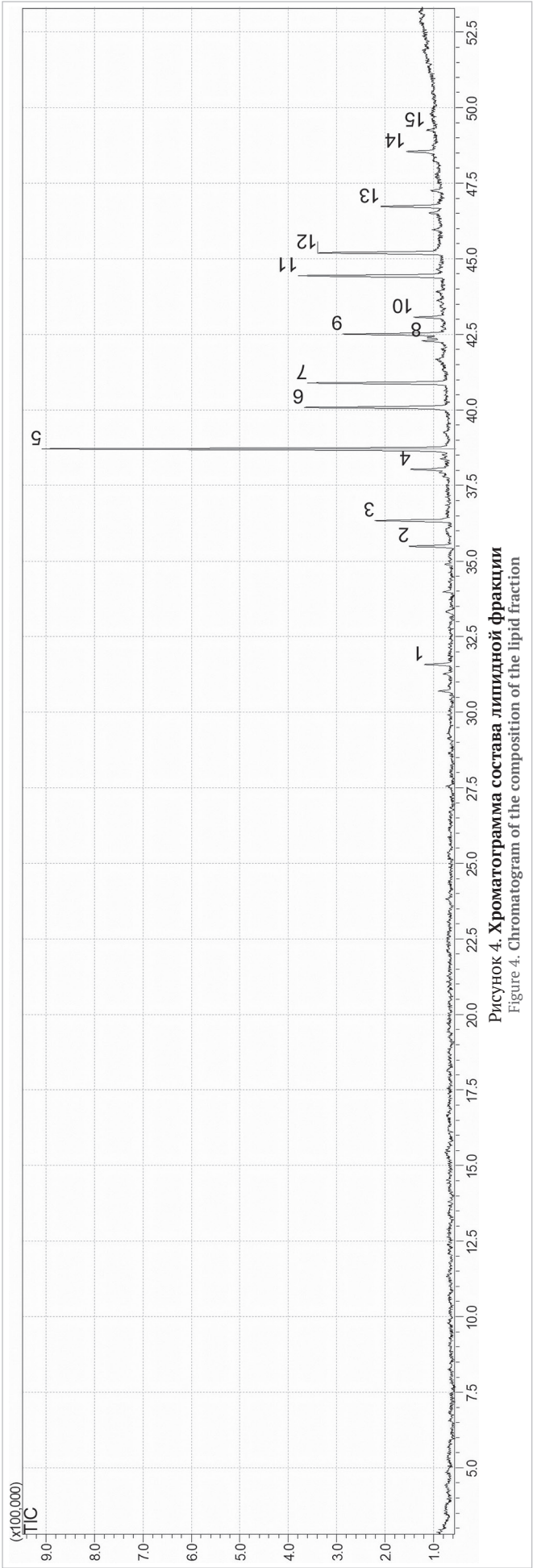


Рисунок 4. Хроматограмма состава липидной фракции

Figure 4. Chromatogram of the composition of the lipid fraction

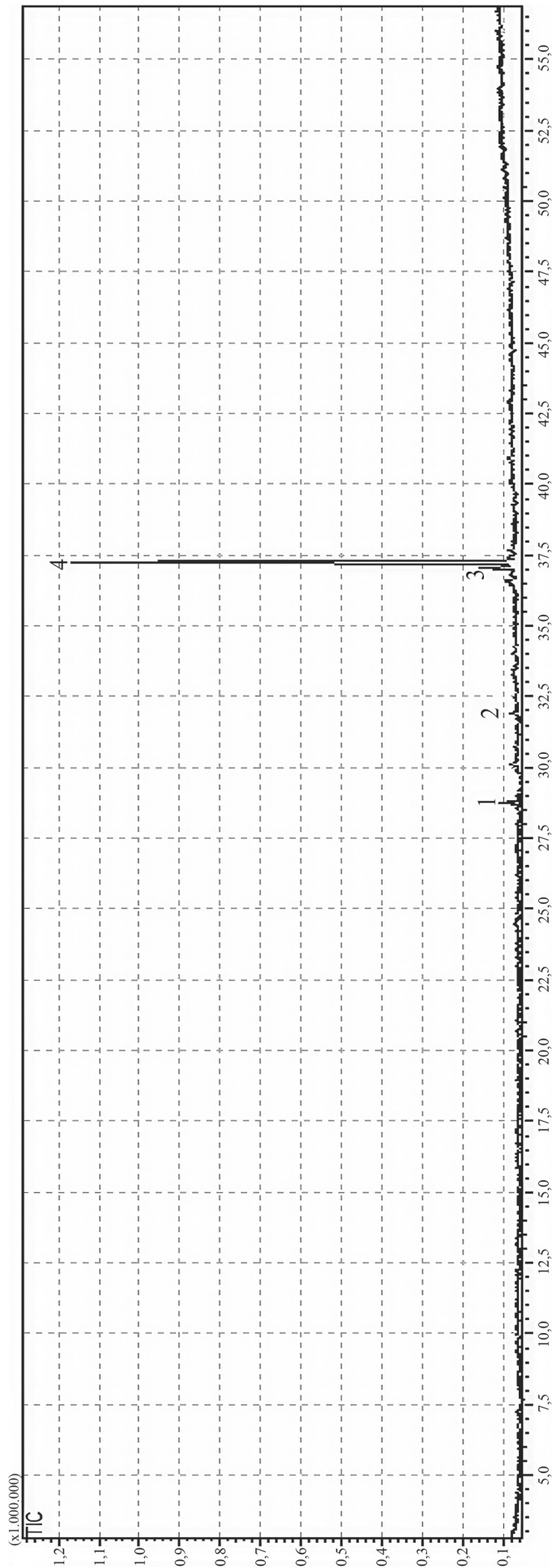


Рисунок 6. Хромотограмма состава полученного образца сквалена
Figure 6. Chromatogram of the composition of the obtained squalene sample

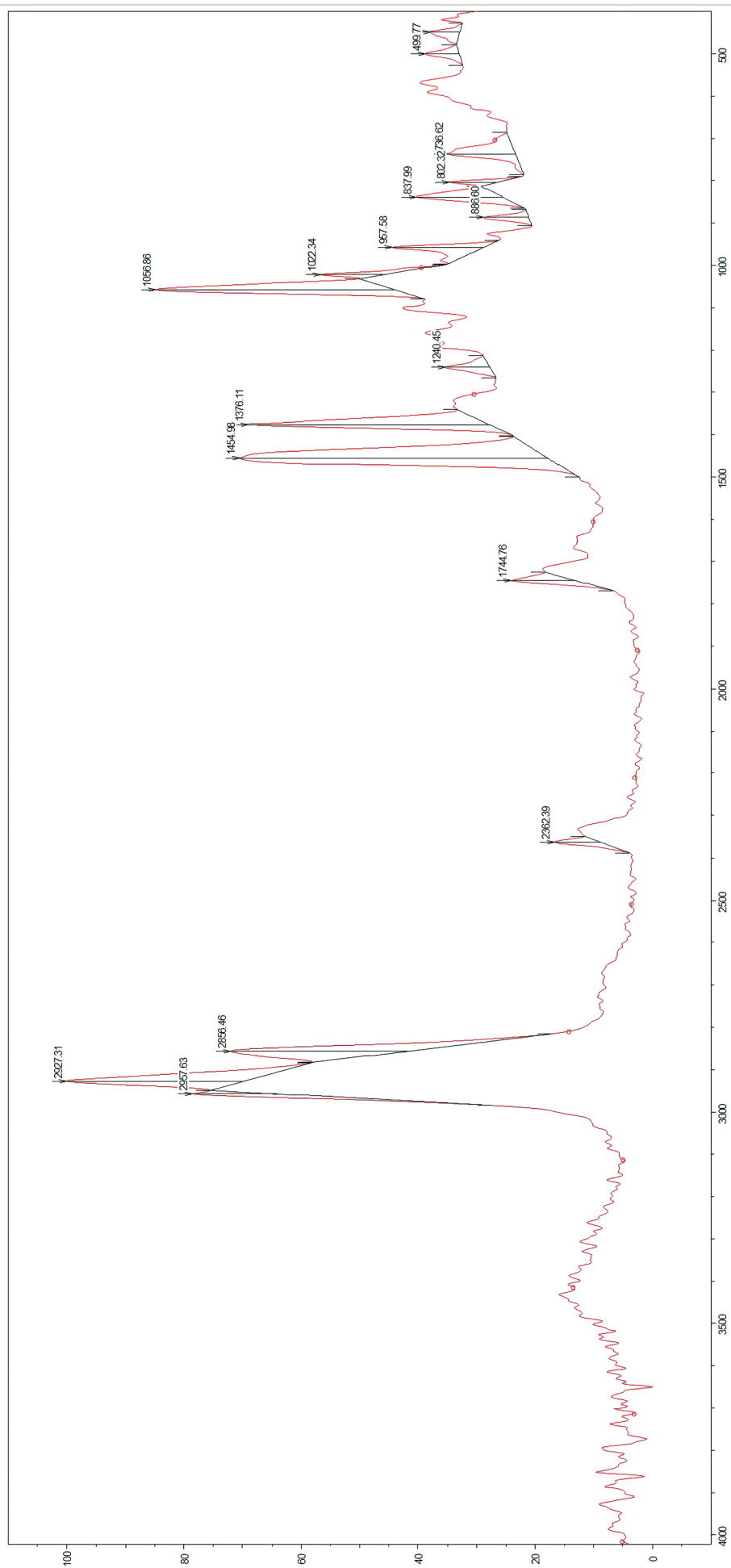


Рисунок 7. ИК-Фурье спектр образца сквалена
Figure 7. FT-IR spectrum of the squalene sample

Сквален приобрел важное значение как мощная биомолекула благодаря широкому спектру применения в различных отраслях, таких как биомедицина, нутрицевтика и косметика. Огромный спектр его биологической активности, включая антиоксидантные, кардиозащитные и противораковые свойства, в сочетании с широким спектром применения еще больше увеличил спрос на сквален во всем мире. Помимо наиболее распространенного метода, молекулярной дистилляции, в настоящее время используются устойчивые методы экстракции, такие как сверхкритическая жидкостная экстракция, для извлечения сквалена из различных источников. Хотя печень акулы традиционно рассматривается как основной источник сквалена, интенсивная ее эксплуатация привела к сокращению численности и угрозе вымирания ряда видов, что обусловило необходимость разработки мер по их охране и регулированию промысла. Это заставило исследователей по всему миру искать другие надежные источники сквалена. Качество экстрагированного сквалена в значительной степени зависит от типа и условий, используемых в процессе экстракции и очистки. Разработка оптимального протокола экстракции не всегда может гарантировать наилучшую применимость сквалена, поскольку он быстрее подвергается окислению, что влияет на его биодоступность. Инкапсуляция сквалена в подходящие матрицы может быть эффективной стратегией для решения проблемы окислительной нестабильности, что, в свою очередь, способствует расширению его применения, особенно в нутрицевтической отрасли [34].

Целью исследования [35] являлось выделение сквалена из масла семян *Lupinus mutabilis* методом прессования и его всесторонняя характеристика. Выход масла составил 44 % от общего содержания жира. Выход сквалена составил 25 %. Состав жировой фракции содержал, помимо сквалена, жирные кислоты (преимущественно ненасыщенные: олеиновая кислота (цис-9 C18:1, 44 г/100 г) и линолевая кислота (цис-9, цис-12 C18:2, 34 г/100 г)). Кроме того, жировая фракция люпина содержала 11 г/100 фосфолипидной фракции, представленной фосфатидилхолином, фосфатидилэтаноламином и лизофосфатидилхолином. Общее содержание фенольных соединений составило 99 мг галловой кислоты в эквиваленте (ГЭ)/кг масла. Масло также содержало 7120 мг/кг стеролов и 494 мг/кг α -токоферола. Эти результаты демонстрируют потенциал масла семян *L. mutabilis*, полученного методом холодного отжима, однако жировая фракция содержала много примесей, что показало необходимость дополнительной очистки для получения сквалена для нутрицевтической промышленности [35].

В работе [36] исследована экстракция сквалена из амаранта методом сверхкритического диоксида углерода и оценка антиоксидантной активности экстрактов. Контролировали выход сквалена сверхкритическим CO₂ и содержание неомыляемой фракции. Экстракция была масштабирована с 50 мл до 500 мл. Выход масла амаранта, полученного с использованием 50 мл экстракционного сосуда в оптимальных условиях, составил 4,11 г/100 г семян. Выход липидов, выделенных гексаном в аппарате Сокслета, был выше (4,7 г/100 г семян) по сравнению с выходом масла, полученным методом экстракции сверхкритическим диоксидом углерода (4,11 и 3,99 г/100 г семян) в экстракционных сосудах объемом 50 мл и 500 мл соответственно.

В целом, выход сквалена из амаранта увеличивался с повышением давления, однако эта зависимость была различной для экстракций чистым CO₂ и в случае использования соразтворителя, что позволило получить более высокие выходы сквалена почти при всех приложенных давлениях. Например, при использовании 5 % соразтворителя выход значительно увеличивался при повышении давления до 35 МПа, в то время как дальнейшее повышение не оказывало существенного влияния на выход сквалена.

Содержание сквалена варьировалось от 5,62 до 14,88 г/100 г масла и от 0,204 до 0,305 г/100 г семян. Наибольшая концентрация сквалена в масле была определена при 15 МПа и без добавления соразтворителя (14,88 г/100 г); однако количество сквалена, извлеченного из семян в этих условиях, было наименьшим — 0,204 г/100 г. Хотя наибольшее содержание сквалена из 100 г семян амаранта было извлечено при 35 МПа и с 5 % соразтворителя (0,305 г/100 г), можно заметить, что процентное содержание этого соединения в экстрактах уменьшалось при добавлении соразтворителя, поскольку общий выход экстракта увеличивался, а сквален разбавлялся другими веществами. Различия в содержании сквалена в масле, экстрагированном при давлении выше 35 МПа, были незначительными ($p < 0,05$). Эти результаты могут быть использованы для получения фракции с высоким содержанием сквалена в масле, почти 15 % при 15 МПа с использованием чистого CO₂. Учитывая низкий выход экстракта в этих условиях, оставшиеся материалы могут быть экстрагированы при

более высоком давлении с использованием соразтворителя для более полного извлечения других веществ. По мнению Brunì и др. [37], различия в растворимости компонентов, присутствующих в материале, могут быть обусловлены соэкстрагированными веществами, которые могут мешать экстракции сквалена. Bhattacharjee и др. [38] изучали растворимость сквалена в различных условиях сверхкритического CO₂ и предположили, что количество сквалена увеличивается с повышением давления и понижением температуры. Наибольший выход сквалена (1,36 мг/г семян) в их исследовании был получен при 55 МПа и 100 °C. По сравнению с нашими результатами, выход сквалена, экстрагированного чистым сверхкритическим CO₂, составил 2,73 мг/г семян при давлении 55 МПа и температуре 40 °C, в то время как добавление 5 % этанола в тех же условиях увеличило выход сквалена всего на 5 % (2,89 мг/г семян). Не и др. [39] сообщили, что содержание сквалена в экстрактах составляло от 0,05 до 0,31 г/100 г, при этом наибольший выход был получен при 20 МПа и 50 °C; при увеличении давления до 30 МПа и температуры до 70 °C выход сквалена существенно не изменился. В исследовании [36] использование 5 % этанола увеличило выход сквалена при давлении 35 МПа и температуре 40 °C на 13 %, до 0,305 г/100 г семян. Полученные результаты показывают, что полярный растворитель незначительно повышает экстрагируемость сквалена сверхкритическим CO₂, что вполне объяснимо для липофильных соединений.

В исследовании [40] были использованы экологически чистые методы экстракции сквалена, такие как сверхкритическая флюидная экстракция (СФЭ) и СФЭ с последующей экстракцией расширенной газом жидкостью с использованием смесей этанола и CO₂. СФЭ позволила получить сквален с выходом экстракции от 12,27 ± 0,02 до 14,5 ± 0,2 %, на который существенно влияли температура (40 и 60 °C) и давление (150–350 бар). Экстракты, полученные методом СФЭ, показали высокую концентрацию токоферола, особенно α -токоферола (116,7–296,9 мкг/г масла) и γ -токоферола (2006–4749 мкг/г масла). Профили жирных кислот были схожи, хотя и несколько различались по составу, что требовало подбора методов очистки фракции сквалена. Однако эти результаты подчеркивают потенциал данного подхода для повышения питательной и коммерческой ценности пищевых продуктов на основе сквалена, выделенного из люпина [40].

В обзоре [41] рассматриваются последние данные о биологической активности, природных и генетически модифицированных растениях, тенденциях в технологиях экстракции и системах доставки сквалена, что открывает инновационные перспективы для крупномасштабного производства и применения сквалена. Исследование показывает, что инновационные, экологически чистые и устойчивые технологии экстракции становятся заменой традиционным технологиям. Кроме того, системы доставки могут использоваться для поддержания окислительной стабильности и эффективности сквалена в пищевых продуктах [41].

Необходимость разработки функциональных продуктов питания со скваленом обусловлена тем, что человек с возрастом теряет способность к синтезу сквалена. Так, в последних работах отмечено, в организме человека синтез сквалена с возрастом снижается [6,16]. Следовательно, его дефицит необходимо удовлетворять за счет потребления продуктов питания, обогащенных скваленом. Не стоит забывать, что всего 65–80 % сквалена усваивается при оральном потреблении [6,16].

Согласно анализу современной научной и технической литературы, в настоящее время разработано крайне мало продуктов, содержащих сквален [42–45].

Так, Sponton и др. [43] разработали инкапсулированный сквален. При этом для инкапсуляции порошкообразного сквалена, выделенного из кукурузного масла, Спонтон О. Э. использовал наночастицы яичного белка. Условиями были масляная фракция (0,1–0,2), количество белка (2–5 мас. %), давление гомогенизации (100 и 200 бар) и количество мальтодекстрина (10–20 мас. %). При содержании масляной фракции 0,15 %, концентрации белка 5 мас. %, давлении гомогенизации 200 бар и содержании мальтодекстрина 20 % была достигнута максимальная эффективность инкапсуляции. Инкапсулированный продукт представляет собой порошок, который характеризуется высокими эмульгирующими свойствами. Авторы разработки отмечают, что эмульгирующая способность инкапсулированного сквалена значительно выше эмульгирующей способности нативного яичного белка [43]. Исследователи предлагают использовать инкапсулированный сквален в производстве функционального хлеба. В своих работах авторы показали, что добавление сквалена в рецептуру хлеба не изменяет его физико-химические показатели качества, а также не оказывает отрицательного влияния на органолептические

и текстурные (реологические) свойства готового продукта. Но при этом отмечено, что инкапсулированный сквален распадается в процессе термической обработки готового продукта, чего не наблюдается при применении инкапсулированного сквалена [43].

На основе инкапсулированного сквалена также разработаны кексы. Изучение физико-химических, реологических, текстурных и сенсорных показателей качества кексов позволило выявить, что добавление в рецептуру кексов инкапсулированного сквалена позволяет значительно повысить их значения. В частности, ученый отмечает, что новые кексы характеризуются более упорядоченной структурой, меньшей жесткостью и липкостью при жевании, а также повышенной упругостью, целостностью и меньшей крошливостью. Кроме того, они обладают увеличенным сроком хранения за счет антимикробных и антиоксидантных свойств. За счет снижения содержания высококалорийных компонентов при добавлении сквалена полученные кексы характеризовались пониженной калорийностью (от $480,78 \pm 0,10$ до $501,61 \pm 0,38$ ккал). Также автором исследования отмечено, что сквален помогает повысить выход готового продукта, так как он способствует сохранению влаги в мякише готового продукта [44]. Следовательно, разработанная система инкапсуляции была пригодна для получения функционального хлеба и кексов на основе обогащения сквалена.

Результаты научного исследования Herrera-Marcos и соавторов [45] свидетельствуют о том, что сквален, благодаря своим биологическим свойствам, можно использовать также в качестве самостоятельной биологически активной добавки, пищевой добавки, имеющей препаративную форму в виде таблетки или желатиновой капсулы. Такой товарный вид сквалена обеспечивает точную дозировку и удобен для приема. Установлено, что применение пищевой добавки, содержащей 2% природного сквалена, приводит к увеличению активности дыхательных маркерных ферментов (НАДН-дегидрогеназа, цитохром-с-оксидаза), замедлению реакций перекисного окисления липидов в митохондриях и снижению образования малонового диальдегида. Кроме того, наблюдается повышение синтеза ферментов цикла трикарбоновых кислот (малатдегидрогеназа, α -кетоглутаратдегидрогеназа, изоцитратдегидрогеназа, сукцинатдегидрогеназа), а также усиление выработки аденозинтрифосфата (АТФ) митохондриями. Таким образом, пищевая (биологически активная) добавка сквалена в живом организме повышает окислительную защитную систему митохондрий за счет инициации процессов синтеза и активности антиперекисной ферментной системы, состоящей из каталазы и супероксиддисмутазы, и глутатионзависимых антиоксидантных ферментов (глутатионпероксидазы и глутатион-S-трансферазы) [46].

Определено, что пероральный прием сквалена инициирует процесс синтеза холестерина. Так, исследования с участием людей показали, что при пероральном приеме добавки сквалена в дозе 500 мг синтез холестерина увеличивался в течение 9–24 часов. Кроме того, сквален способствовал увеличению концентрации ланостерола в крови человека. Также некоторыми авторами отмечено, что сквален широко используется в терапевтических целях в виде вакцины [47,48], в виде порошка, предназначенного для добавления в различные оздоровительные напитки, соки и смузи [45,48,49].

Таким образом, результаты исследований, указанных в работах [44–49], подтверждают, что нативный и инкапсулированный сквален представляют собой функциональные ингредиенты для со-

здания инновационных продуктов профилактического назначения, обладающих антиоксидантными и антимикробными свойствами и характеризующихся высоким терапевтическим потенциалом. Однако на данный момент выполнено ограниченное количество исследований по разработке функциональных продуктов питания на основе сквалена, а существующие продукты не получили широкого распространения в рационе людей, ведущих здоровый образ жизни, поскольку содержат простые сахара. Поэтому научному сообществу необходимо разработать стратегию по расширению ассортимента продуктов питания, в рецептуру которых будет входить незаменимый для жизнедеятельности человека сквален. Как было отмечено ранее, сквален является предшественником холестерина, который является базисом для синтеза многих гормонов человека [12]. Недостаток сквалена в живом организме может привести к серьезным гормональным нарушениям.

4. Выводы

Таким образом, в ходе работы был изучен процесс выделения и очистки фракции сквалена из люпина белого. Для этого выделяли липидную фракцию из люпина белого методом Сокслета. Установлено, что люпин белый, собранный в Калининградской области, содержал $9,65 \pm 0,32\%$ липидной фракции. Липидная фракция люпина белого содержала до 34,57% сквалена, до 10,24% кампестерола. В исследуемом образце люпина белого были обнаружены 2-метилоктакозан, генэйкозан и β -ситостерол (9,62%, 8,33% и 8,99% соответственно). В липидной фракции содержался также люпеол (тритерпеноид). Содержание сквалена определяли методом хроматографии. Используя метод ВЭЖХ, удалось получить фракцию, содержащую чистый сквален. Установлено, что из липидной фракции люпина с помощью многостадийной экстракции и жидкостной хроматографии можно получить сквален со степенью чистоты 98%.

При анализе перспективных направлений дальнейших исследований следует учитывать, что интерес научного сообщества к сквалену в последние годы существенно возрос, главным образом благодаря его полезным свойствам. Широко обсуждается гипотеза о его способности насыщать организм кислородом, что рассматривается как возможный фактор, связанный с адаптацией глубоководных акул к условиям низкого содержания кислорода. Тем не менее прямые экспериментальные подтверждения этой гипотезы отсутствуют. За счет липофильной природы сквалена он не реагирует с водой без достаточной активации, поэтому его предполагаемая способность выделять молекулярный кислород требует дальнейших исследований.

Что касается дыхательных функций на клеточном уровне, сквален может потенциально играть вспомогательную роль в условиях гипоксии. При этом организм использует кислород исключительно на завершающей стадии дыхательного процесса. Если доступ кислорода ограничен, активируются альтернативные механизмы — например, анаэробное дыхание. Этот процесс позволяет реакциям происходить с использованием других акцепторов электронов, таких как нитраты, сульфаты или карбонаты. Анаэробное окисление не приводит к образованию воды, но запускает метаболические цепочки, способствующие выживанию клеток. Таким образом, сквален положительно влияет на профилактику сердечно-сосудистых заболеваний у человека. Предполагается, что выделенный из люпина белого сквален может использоваться для изготовления пищевых добавок и функциональных продуктов питания.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК / REFERENCES

- Kim, S.-K., Karadeniz, F. (2012). Biological importance and applications of squalene and squalene. Chapter in a book: *Advances in Food and Nutrition Research*. Elsevier, 2012. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-416003-3.00014-7>
- Barp, L., Miklavčič Višnjevec, A., Moret, S. (2024). Analytical determination of squalene in extra virgin olive oil and olive processing by-products, and its valorization as an ingredient in functional food—a critical review. *Molecules*, 29(21), Article 5201. <https://doi.org/10.3390/molecules29215201>
- Wu, L., Zhao, J., Wu, L., Zhang, Y., Li, J. (2022). Simultaneous determination of squalene, tocopherols and phytosterols in edible vegetable oil by SPE combined with saponification and GC-MS. *LWT*, 169, Article 114026. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.114026>
- Pacetti, D., Scortichini, S., Boarelli, M.C., Fiorini, D. (2019). Simple and rapid method to analyse squalene in olive oils and extra virgin olive oils. *Food Control*, 102, 240–244. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.03.005>
- Yuan, C., Xie, Y., Jin, R., Ren, L., Zhou, L., Zhu, M. et al. (2017). Simultaneous analysis of tocopherols, phytosterols, and squalene in vegetable oils by high-performance liquid chromatography. *Food Analytical Methods*, 10(11), 3716–3722. <https://doi.org/10.1007/s12161-017-0927-x>
- Gohil, N., Bhattacharjee, G., Khambhati, K., Braddick, D., Singh, V. (2019). Engineering strategies in microorganisms for the enhanced production of squalene: Advances, challenges and opportunities. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 7, Article 50. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2019.00050>
- Park, S.Y., Choi, S.J., Park, H.J., Ma, S.Y., Moon, Y.I., Park, S.-K. et al. (2020). Hexane extract of green tea (*Camellia sinensis*) leaves is an exceptionally rich source of squalene. *Food Science and Biotechnology*, 29, 769–775. <https://doi.org/10.1007/s10068-019-00724-3>
- Purkiewicz, A., Czaplicki, S., Pietrzak-Fiećko, R. (2022). The occurrence of squalene in human milk and infant formula. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(19), Article 12928. <https://doi.org/10.3390/ijerph191912928>
- Azri, A., Debouba, M., Bouajila, J., Yeshitila, M., Cerny, M., Lacroux, E. et al. (2025). Lipids composition, fatty acid and squalene contents in a wide Amaranth collection. *Journal of Food Composition and Analysis*, 148(Part 2), Article 108305. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2025.108305>
- Lozano-Grande, M.A., Gorinstein, S., Espitia-Rangel, E., Dávila-Ortiz, G., Martínez-Ayala, A.L. (2018). Plant sources, extraction methods, and uses of squalene. *International Journal of Agronomy*, 2018, Article 1829160. <https://doi.org/10.1155/2018/1829160>
- Ryan, E., Galvin, K., O'Connor, T. P., Maguire, A.R., O'Brien, N.M. (2007). Phytosterol, squalene, tocopherol content and fatty acid profile of selected seeds,

- grains, and legumes. *Plant Foods for Human Nutrition*, 62(3), 85–91. <https://doi.org/10.1007/s11130-007-0046-8>
12. Popa, O., Băbeanu, N. E., Popa, I., Niță, S., Dinu-Pârvu, C. E. (2015). Methods for obtaining and determination of squalene from natural sources. *BioMed Research International*, 2015(1), Article 367202. <https://doi.org/10.1155/2015/367202>
 13. Sheng, Y. Y., Xiang, J., Wang, K. R., Li, Z. Y., Li, K., Lu, J. L. et al. (2022) Extraction of squalene from tea leaves (*Camellia sinensis*) and its variations with leaf maturity and tea cultivar. *Frontiers in Nutrition*, 9, Article 755514. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.755514>
 14. Vázquez, L., Torres, C. F., Fornari, T., Señoráns, F. J., Reglero, G. (2007). Recovery of squalene from vegetable oil sources using countercurrent supercritical carbon dioxide extraction. *Journal of Supercritical Fluids*, 40(1), 59–66. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2006.04.012>
 15. Nergiz, C., Çelikkale, D. (2011). The effect of consecutive steps of refining on squalene content of vegetable oils. *Journal of Food Science and Technology*, 48(3), 382–385. <https://doi.org/10.1007/s13197-010-0190-2>
 16. Cheng, L., Ji, T., Zhang, M., Fang, B. (2024). Recent advances in squalene: Biological activities, sources, extraction, and delivery systems. *Trends in Food Science and Technology*, 146(1), Article 104392. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2024.104392>
 17. Kalogeropoulos, N., Andrikopoulos, N. K. (2004). Squalene in oils and fats from domestic and commercial fryings of potatoes. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 55(2), 125–129. <https://doi.org/10.1080/09637480410001666531>
 18. Gunes, F. (2013). Medical use of squalene as a natural antioxidant. *Journal of Marmara University Institute of Health Sciences*, 3(4), 221–229. <https://doi.org/10.5455/musbed.20131213100404>
 19. Duan, Y., Gong, K., Xu, S., Zhang, F., Meng, X., Han, J. (2022). Regulation of cholesterol homeostasis in health and diseases: From mechanisms to targeted therapeutics. *Signal Transduction and Targeted Therapy*, 7, Article 265. <https://doi.org/10.1038/s41392-022-01125-5>
 20. Panov, A.V., Mayorov, V.I., Dikalov, S.I. (2024). Role of fatty acids β -oxidation in the metabolic interactions between organs. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(23), Article 12740. <https://doi.org/10.3390/ijms252312740>
 21. Самков, А. А., Волченко, Н. Н., Худоков, А. А., Калашников, А. А., Веселовская, М. В. (2014). Анаэробная биодegradация органических соединений в микробных топливных элементах. *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*, 101, 496–510. [Samkov, A. A., Volchenko, N. N., Khudokormov, A. A., Kalashnikov, A. A., Veselovskaya, M. V. (2014). Anaerobic biodegradation of organic compounds in microbial fuel cells. *Polythematic Online Scientific Journal of Kuban State Agrarian University*, 101, 496–510. (In Russian)]
 22. Zhao, H., Song, Z., Liu, X., Gong, S., Tang, Q., Liu, C. et al. (2025). Functional characterization of squalene epoxidases from *Siraitia grosvenorii*. *Plants*, 14(12), Article 1740. <https://doi.org/10.3390/plants14121740>
 23. Rosales-García, T., Jimenez-Martinez, C., Davila-Ortiz, G. (2017). Squalene extraction: Biological sources and extraction methods. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology*, 2(4), 1662–1670. <https://doi.org/10.22161/ijeab.2.4.26>
 24. Кувакин, С. Г., Харченко, С. М., Королева, Ю. А., Кириллова, Д. Д., Шаталов, Д. О. (29 ноября 2025). Разработка методов стандартизации сквалена. Сборник материалов XI Всероссийской научно-практической конференции с международным участием: Перспективы внедрения инновационных технологий в медицине и фармации. Электрогорск: АО «ЭКОлаб»; Орехово-Зуево: ПГТУ, 2025. [Kuvakin S. G., Kharchenko S. M., Koroleva Yu. A., Kirillova D. D., Shatalov D. O. (November 29, 2025). Development of methods for squalene standardization. Proceedings of the 11th All-Russian scientific-practical conference with international participation: Prospects of introduction of innovative technologies in medicine and pharmaceuticals. Elektrogorsk: JSC "ECOLAB"; Orekhovo-Zuevo: GGTU, 2025. (In Russian)]
 25. Лобода, А. В., Никонович, С. Н., Тимофеев, Т. И. (2009). Биологически активная добавка «Сквален-Лецитин» на основе семян амаранта. Краснодар: Издательский Дом Юг, 2009. [Loboda, A. V., Nikonovich, S. N., Timofeyenko, T. I. (2009). Biologically active additive "Squalene-Lecithin" based on amaranth seeds. Krasnodar: Publishing House Yug, 2009. (In Russian)]
 26. Агафонова, С. В., Рыков, А. И. (2021). Химический состав семян растения *Lupinus angustifolius* L. и *Lupinus albus* L. Калининградской области. *Химия растительного сырья*, 3, 135–142. [Agafonova, S.V., Rykov, A.I. (2021). Chemical composition of seeds of plants *Lupinus angustifolius* L. and *Lupinus albus* L. of the Kaliningrad region. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 3, 135–142. (In Russian)] <https://doi.org/10.14258/jcpm.2021038358>
 27. Писарев, Д. И., Новиков, О. О., Бочарникова, М. А., Васильева, Ю. Г., Малютина, А. Ю. (2016). Разработка методики определения содержания сквалена в некоторых растительных жирных маслах. *Научный результат. Медицина и фармация*, 2(4), 43–53. [Pisarev, D. I., Novikov, O. O., Bocharnikova, M. A., Vasilyeva, Yu. G., Malyutina, A. Yu. (2016). Название по данным журнала: Development of techniques for quantification of squalene in certain vegetable fatty oils. *Research Result. Medicine and Pharmacy*, 2(4), 43–53. (In Russian)] <https://doi.org/10.18413/2313-8955-2016-2-4-43-53>
 28. Терехова, Т. С., Фурсова, А. В., Офицеров, Е. Н. (2013). Качественное и количественное определение сквалена в маслах и реакционных смесях методом ВЭЖХ. *Успехи в химии и химической технологии*, 27(4(144)), 84–89. [Terekhova, T.S., Fursova, A.V., Ofitserov, E.N. (2013). The qualitative and quantitative determination of squalene in vegetable oil and reaction mixtures by HPLC. *Advances in Chemistry and Chemical Technology*, 27(4(144)), 84–89. (In Russian)]
 29. He, H.-P., Cai, Y., Sun, M., Corke, H. (2002). Extraction and purification of squalene from amaranthus grain. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(2), 368–372. <https://doi.org/10.1021/jf010918p>
 30. Wandira, I., Legowo, E. H., Widiputri, D. I. (2017). Optimization of squalene produced from crude palm oil waste. *AIP Conference Proceedings*, 1803(1), Article 020061. <https://doi.org/10.1063/1.4973188>
 31. Павлова, О. В., Калистратова, А. В., Офицеров, Е. Н. (2020). К проблеме определения сквалена в масле растений рода *Amaranthus* и продуктах его трансформации. *Успехи в химии и химической технологии*, 34(7(230)), 32–34. [Pavlova, O. V., Kalistratova, A. V., Ofitserov, E. N. (2020). On the problem of determining squalene in the oil of plants of the Genus *Amaranthus* and the products of its transformation. *Advances in Chemistry and Chemical Technology*, 34(7(230)), 32–34. (In Russian)]
 32. Siddique, H. R., Saleem, M. (2011). Beneficial health effects of lupeol triterpene: A review of preclinical studies. *Life Sciences*, 88(7–8), 285–293. <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2010.11.020>
 33. AlMousa, L. A., Pandey, P., Lakhanpal, S., Kyada, A. K., Nayak, P. P., Hussain, A. et al. (2025). An updated review deciphering the anticancer potential of pentacyclic triterpene lupeol and its nanoformulations. *Frontiers in Pharmacology*, 9(16), Article 1594901. <https://doi.org/10.3389/fphar.2025.1594901>
 34. Kumar, L. R. G., Tejpal, C. S., Anas, K. K., Chatterjee, N. S., Anandan, R., Mathew, S. et al. (2023). Squalene: Bioactivity, extraction, encapsulation, and future perspectives. Chapter in a book: *Marine Antioxidants*, Elsevier, 2023. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-95086-2.00038-2>
 35. Bañares, C., Antezana, A.V., Chabni, A., Ramirez-Veliz, C., Intiquilla, A., Jiménez-Aliaga, K. et al. (2026). Revalorization of *Lupinus mutabilis* seed oil via clean expeller extraction and comprehensive chemical characterization. *Journal of Food Composition and Analysis*, 152, Article 109023. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2026.109023>
 36. Kraujalis, P. (2014). Optimisation of fractionation process of amaranth (*Amaranthus* spp.) by applying high pressure extraction methods. Doctoral Dissertation Kaunas University of Technology, Technological Sciences, Chemical Engineering, 05T, Kaunas, 2014.
 37. Bruni, R., Guerrini, A., Scalia, S., Romagnoli, C., Sacchetti, G. (2002). Rapid techniques for the extraction of vitamin E isomers from *Amaranthus caudatus* seeds: ultrasonic and supercritical fluid extraction. *Phytochemical Analysis*, 13(5), 257–261. <https://doi.org/10.1002/pca.651>
 38. Bhattacharjee, P., Chatterjee, D., Singhal, R. (2012). Supercritical carbon dioxide extraction of squalene from *Amaranthus paniculatus*: Experiments and process characterization. *Food and Bioprocess Technology*, 5, 2506–2521. <https://doi.org/10.1007/s11947-011-0612-9>
 39. He, H.-P., Corke, H. (2003). Oil and squalene in *Amaranthus* grain and leaf. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(27), 7913–7920. <https://doi.org/10.1021/jf030489q>
 40. Náthia-Neves, G., Getachew, A. T., Ghelichi, S., Jacobsen, C. (2025). The use of green technologies for processing lupin seeds (*Lupinus angustifolius* L.): Extraction of non-polar and polar compounds for concentrated-protein flour production. *Food Research International*, 200, Article 15434. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.115434>
 41. Adi, P., Mutiara, W. (2024). Review: Exploration of squalene from natural materials as its potential in health and food fields. *Indonesian Journal of Chemical Engineering*, 2(2), 79–89. <https://doi.org/10.26555/ijce.v2i2.1423>
 42. Narayan Bhilwade, H., Tatewaki, N., Nishida, H., Konishi, T. (2010). Squalene as novel food factor. *Current Pharmaceutical Biotechnology*, 11(8), 875–880. <https://doi.org/10.2174/138920110793262088>
 43. Sponton, O. E., Perez, A. A., Osella, C., Cuffia, F., Fenoglio, C., Piagentini, A., Santiago, L. G. (2023). Squalene encapsulation by emulsification and freeze-drying process: Effects on bread fortification. *Journal of Food Science*, 88(6), 2523–2535. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.16576>
 44. Kumar, L.R.G., Sanath Kumar, H., Tejpal, C.S., Anas, K.K., Nayak, B.B., Sarika, K. et al. (2021). Exploring the physical and quality attributes of muffins incorporated with microencapsulated squalene as a functional food additive. *Journal of Food Science and Technology*, 58(12), 4674–4684. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04955-9>
 45. Herrera-Marcos, L.V., Martínez-Beamonte, R., Arnal, C., Barranquero, C., Puente-Lanzarote, J.J., Herrero-Contiente, T. et al. (2023). Dietary squalene supplementation decreases triglyceride species and modifies phospholipid lipidomic profile in the liver of a porcine model of non-alcoholic steatohepatitis. *Journal of Nutritional Biochemistry*, 112, Article 109207. <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2022.109207>
 46. Buddhan, S., Sivakumar, R., Dhandapani, N., Ganesan, B., Anandan, R. (2007). Protective effect of dietary squalene supplementation on mitochondrial function in liver of aged rats. *Prostaglandins Leukot Essent Fatty Acids*, 76(6), 349–355. <https://doi.org/10.1016/j.plefa.2007.05.001>
 47. Micera, M., Botto, A., Geddo, F., Antoniotti, S., Berte, C.M., Levi, R. et al. (2020). Squalene: More than a step toward sterols. *Antioxidants*, 9(8), Article 688. <https://doi.org/10.3390/antiox9080688>
 48. Reddy, L.H., Couvreur, P. (2009). Squalene: A natural triterpene for use in disease management and therapy. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 61, 1412–1426. <https://doi.org/10.1016/j.addr.2009.09.005>
 49. Narayan Bhilwade, H., Tatewaki, N., Nishida, H., Konishi, T. (2010). Squalene as novel food factor. *Current Pharmaceutical Biotechnology*, 11(8), 875–880. <https://doi.org/10.2174/138920110793262088>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	Affiliation
Ульрих Елена Викторовна — доктор технических наук, профессор, кафедра инжиниринга технологического оборудования, Калининградский государственный технический университет 236022, Калининград, проспект Советский, 1 E-mail: elena.ulrikh@klgtu.ru ORCID: http://orcid.org/0000-0003-4107-7277 * автор для контактов	Elena V. Ulrikh, Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Technological Equipment Engineering, Kaliningrad State Technical University 1, Prospekt Sovetskiy, 236022, Kaliningrad, Russia E-mail: elena.ulrikh@klgtu.ru ORCID: http://orcid.org/0000-0003-4107-7277 * corresponding author
Критерии авторства	Contribution
Автор самостоятельно подготовил рукопись и несет ответственность за плагиат.	Completely prepared the manuscript and is responsible for plagiarism.
Конфликт интересов	Conflict of interest
Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.	The author declare no conflict of interest.