



Научная статья

УДК 543.422.8:661.18

DOI: 10.52957/2782-1900-2026-7-3-61-69

СИНТЕЗ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИЭТАНОЛАМИДОВ ЖИРНЫХ КИСЛОТ НА ОСНОВЕ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЕЛ: КИНЕТИКА ПРОЦЕССА, АНАЛИТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ

К. А. Волжанкина¹, В. Ю. Невиницын¹, Я. И. Доронин², Я. Н. Чуткова¹,
Н. Е. Галанин¹

Ксения Алексеевна Волжанкина, магистрант; Владимир Юрьевич Невиницын, канд. тех. наук, доцент; Ярослав Игоревич Доронин, начальник ЦЗЛ; Яна Николаевна Чуткова, магистрант; Николай Евгеньевич Галанин, д-р хим. наук, профессор

¹ ФГБОУ ВО «Ивановский государственный химико-технологический университет», 153000, Россия, г. Иваново, Шереметевский пр., 7; kseniyavolzhanikina@mail.ru

² АО «Скоропусковский синтез», 141364, Россия, Московская обл., Сергиево-Посадский р-н, пгт Скоропусковский, 63, стр. 2; tangar09@mail.ru

Ключевые слова:
диэтаноламиды,
растительные
масла,
амидирование,
газовая
хроматография,
потенциометричес-
кое титрование,
кинетика реакции,
поверхностно-
активные
вещества, энергия
активации,
селективность,
синтез

Аннотация. В работе представлены результаты комплексного исследования синтеза диэтаноламидов жирных кислот (ДЭАЖК) из трёх типов растительного сырья: кокосового, пальмоядрового и подсолнечного масел квалификации RBD. Методом газовой хроматографии на аналитическом комплексе «Хроматэк-Кристалл 5000.2» определён жирнокислотный состав исходных масел и полученных продуктов амидирования. Установлено, что кокосовое и пальмоядровое масла характеризуются высоким содержанием лауриновой (47.8 – 50.8%) и миристиновой (15.8 – 18.0%) кислот, что обуславливает высокие пенообразующие свойства соответствующих ДЭАЖК. Подсолнечное масло содержит преимущественно олеиновую и линолеовую кислоты (88.4%), обеспечивая загущающие и эмульгирующие характеристики. Синтез ДЭАЖК проводили при температуре 100 – 125 °С в атмосфере азота с использованием катализатора NaOH (0.1 – 0.5 мас. %). Кинетические исследования показали, что оптимальное время реакции составляет 3 – 4 часа, после чего концентрация свободного диэтанолamina (ДЭА) стабилизируется. Определение содержания свободного ДЭА проводилось двумя методами: потенциометрическим титрованием и газожидкостной хроматографией (ГХ). Для контроля содержания ДЭА лучшим способом является метод ГХ. Полученные образцы ДЭАЖК соответствуют требованиям потребителей: содержание свободного ДЭА 4.6 – 5.5%, кислотное число 1.50 – 2.82 мг КОН/г, цветность по шкале Гарднера 3 – 4. Рассчитаны значения кажущейся энергии активации реакций амидирования для исследуемых масел (64 – 71 кДж/моль) и селективность образования целевых диэтаноламидов (93.8 – 96.1% при 100 °С).

Для цитирования:

Волжанкина К.А., Невиницын В.Ю., Доронин Я.И., Чуткова Я.Н., Галанин Н.Е. Синтез и физико-химическая характеристика диэтаноламидов жирных кислот на основе растительных масел: кинетика процесса, аналитический контроль // От химии к технологии шаг за шагом. 2026. Т. 7, вып. 3. С. 61-69. URL: <https://chemintech.ru/ru/nauka/issue/7500/view>



Введение

Современная химическая промышленность переживает период трансформации, обусловленный ужесточением экологических стандартов [1] и ростом потребительского спроса на биоразлагаемые продукты [2, 3]. В секторе поверхностно-активных веществ (ПАВ) наблюдается тенденция замены традиционных синтетических компонентов на аналоги из возобновляемого сырья [4 – 6]. Диэтаноламиды жирных кислот (ДЭАЖК) представляют собой перспективный класс неионогенных ПАВ, получаемых конденсацией жирных кислот (ЖК) растительных масел с диэтаноламином [7 – 9].

Эти соединения обладают комплексом ценных свойств: высокой пенообразующей способностью, загущающим эффектом, эмульгирующей активностью и мягким воздействием на кожу [10 – 12]. ДЭАЖК демонстрируют высокую скорость биоразложения ($\geq 90\%$ за 28 дней по OECD 301B), что делает их предпочтительными с точки зрения экологической безопасности [12, 13].

Синтезу амидов жирных кислот растительных масел посвящено значительное количество исследований. Так, Карпеева И.Э. и соавторы [14] изучали амидирование подсолнечного масла, показав возможность получения продуктов с высокими пенообразующими характеристиками при температуре 110 – 130 °С. Протопопов А.В. и др. [15] оптимизировали условия реакции с участием пальмового масла, однако кинетические параметры процесса в их работах не рассматривались. Лутфуллина Г.Г. с коллегами [8, 10] исследовали синтез неионогенных ПАВ на основе кукурузного масла, акцентируя внимание на реологических свойствах конечных композиций. Работы [16 – 21] посвящены применению ДЭАЖК в качестве ингибиторов коррозии и антимикробных добавок, однако вопросы кинетического моделирования и влияния температурного режима на селективность процесса в них освещены фрагментарно.

Таким образом, оптимизация технологии получения ДЭАЖК с целью повышения качества продуктов является актуальной задачей. В этой связи, целью настоящей работы явилась разработка методики синтеза ДЭАЖК из различных растительных масел, изучение кинетики процесса амидирования, поиск аналитических методов контроля содержания свободного ДЭА.

В результате работы впервые проведён сравнительный кинетический анализ синтеза ДЭАЖК из трёх растительных масел (кокосового, пальмоядрового, подсолнечного) в единых экспериментальных условиях; предложены два аналитических метода (потенциометрия и ГХ) для контроля свободного ДЭА с учётом влияния на результат анализа побочно образующихся аминоэфиров; установлен оптимальный температурный режим, минимизирующий образование побочных продуктов без существенного снижения скорости процесса.

Экспериментальная часть

Для синтеза использовали растительные масла квалификации RBD (отбеленное, рафинированное, дезодорированное) производителя «РусАгро»: кокосовое, пальмоядровое и пресловое (подсолнечное), диэтаноламин (ДЭА) марки «ч.» (чистый), содержание основного вещества $\geq 99.0\%$ (ГОСТ 10626-76). Катализатор – гидроксид натрия (NaOH) квалификации «х.ч.» (ГОСТ 4328-77). Азот газообразный особой чистоты (ГОСТ 9293-74).



Определение жирнокислотного состава растительных масел проводили методом газовой хроматографии на комплексе «Хроматэк-Кристалл 5000.2» с капиллярной колонкой HP-5MS (30 м × 0.25 мм). Условия: температура испарителя 270 °С; программа колонки: 150 °С (2 мин) → 10 °С/мин → 270 °С (20 мин); детектор ПИД, 300 °С; газ-носитель – гелий, 1.0 мл/мин. Пробы масел и диэтаноламидов предварительно метилировали метанольным раствором HCl (5%) при 70 °С в течение 2 часов до получения метиловых эфиров жирных кислот (МЭЖК). Идентификацию пиков проводили по времени удерживания стандартных образцов индивидуальных метиловых эфиров жирных кислот.

Определение свободного ДЭА в синтезированных образцах диэтаноламидов. Потенциометрическое титрование: навеску 1.5 – 2.0 г растворяли в 30 см³ изопропанола, добавляли 20 см³ воды, индикаторы фенолфталеин и бромкрезоловый зелёный, титровали 0.1 н. HCl с регистрацией потенциала на иономере ЭВ-74. Массовую долю свободного ДЭА (X, %) рассчитывали по формуле:

$$X = \frac{V * k * 0.0105}{m} * 100\%$$

где V – объём титранта, см³; k – поправочный коэффициент; m – масса навески, г.

Пределы относительной погрешности метода потенциометрического титрования составили ±3.5% (при доверительной вероятности 0.95).

Газохроматографический анализ синтезированных диэтаноламидов выполняли на том же хроматографе с использованием внутреннего стандарта (1,4-бутандиол). Анализ проводили на содержание свободного диэтаноламина и глицерина в синтезированном продукте. Пробы растворяли в изопропанол (20 мг/мл), вводили 1 мкл. Калибровку проводили по серии стандартных растворов с концентрацией ДЭА 0.1 – 2.0 мг/см³.

Пределы относительной погрешности ГХ-метода составили ±2.1% (при доверительной вероятности 0.95).

Определение кислотного числа синтезированных диэтаноламидов проводили потенциометрическим титрованием 0.1 н. раствором КОН в смеси изопропанол/вода (3:1) согласно ГОСТ 25794.1-83.

Кажущуюся энергию активации (E_a) рассчитывали по уравнению Аррениуса:

$$\ln \frac{k_2}{k_1} = \frac{E_a}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right),$$

где k_1 , k_2 – константы скорости при температурах T_1 и T_2 , R – универсальная газовая постоянная (8.314 Дж/моль·К).

Синтез ДЭАЖК. В трёхгорлую колбу объемом 500 мл, оснащённую механической мешалкой, термометром и обратным холодильником, вносили 200 г растительного масла и катализатор NaOH (0.1 – 0.5 мас. % от массы масла). Колбу продували азотом, смесь нагревали до температуры 100 – 125 °С, добавляли расчётное количество диэтаноламина с избытком 1 – 3% относительно стехиометрии. Отсчёт времени реакции начинали с момента завершения ввода ДЭА. По окончании реакции смесь охлаждали до 80 °С. Продукт не выделяли в индивидуальном виде, так как товарной формой является жидкий концентрат. Выход целевого продукта составил 88 – 92% в пересчёте на масло.



Результаты и их обсуждение

Реакцию амидирования масел можно представить схемой 1:

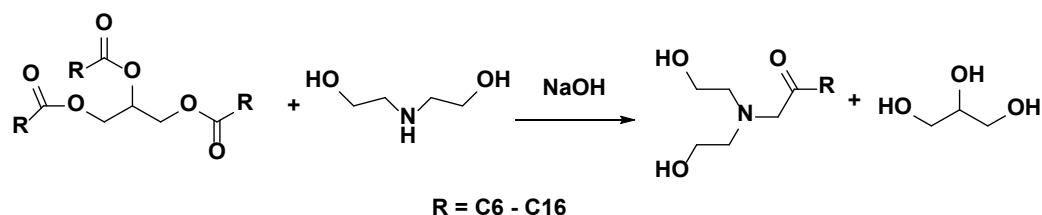


Схема 1

При этом могут протекать побочные реакции: образования аминоэфиров (этерификация) (Схема 2) и термическая деструкция (при $T > 120\text{ }^{\circ}\text{C}$) ненасыщенных фрагментов линолевой/олеиновой кислот с образованием окрашенных продуктов полимеризации [12, 18].

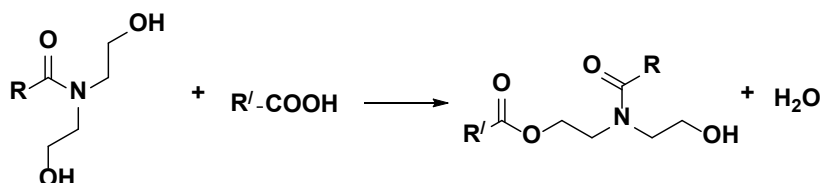


Схема 2

Заместители (R) меняются в зависимости от вида масла. Жирнокислотный анализ исходного сырья проводили методом газожидкостной хроматографии. Анализ показал существенные различия в составе масел (табл. 1).

Таблица 1. Жирнокислотный состав кокосового, пальмоядрового и прессового масла

Компонент	Пальмоядровое масло, %	Кокосовое масло, %	Прессовое масло, %
Капроновая	0.204	0.514	-
Каприловая	4.101	7.820	-
Каприновая	3.808	6.243	0.065
Лауриновая	50.775	47.846	0.830
Миристиновая	15.753	18.006	0.077
Пальмитиновая	8.818	9.498	7.145
Линолевая	0.210	-	88.355*
Олеиновая	14.566	7.575	
Стеариновая	1.766	2.499	3.528

*Суммарное содержание линолевой и стеариновой кислот

Исходя из полученных результатов можно сделать следующие выводы:

- жирнокислотный состав пальмоядрового и кокосового масла близок, основными компонентами являются насыщенные лауриновая и миристиновая кислоты, что может быть предпосылкой для использования этих масел в качестве сырья для производства добавок в моющие средства с высоким пенообразованием;
- жирнокислотный состав прессового масла состоит преимущественно из ненасыщенных кислот C18 (олеиновая и линолевая), что обуславливает применение ДЭАЖК этого масла в качестве эмульгаторов и загустителей.



Результаты анализа синтезированных диэтаноламидов представлены в таблице 2.

Таблица 2. Качество синтезированных диэтаноламидов

Наименование диэтаноламида	Кислотное число, мг КОН/г	Содержание диэтаноламина, %
Кокосовый диэтаноламид	2.73	5.5
Прессовый диэтаноламид	1.50	4.6
Пальмоядровый диэтаноламид	2.82	5.4

Хроматографический анализ метиловых эфиров жирных кислот, полученных из синтезированных продуктов, показал, что профиль жирных кислот соответствует исходному сырью (таблица 3).

Таблица 3. Жирнокислотный состав диэтаноламидов

Компонент	Пальмоядровое масло, %	Кокосовое масло, %	Прессовое масло, %
Капроновая	0.439	1.066	
Каприловая	4.622	10.389	
Каприновая	3.427	6.756	1.517
Лауриновая	45.715	47.572	
Миристиновая	14.235	16.390	0.263
Пальмитиновая	8.077	8.304	6.035
Капроновая	0.439	1.066	54.563*
Каприловая	4.622	10.389	
Каприновая	3.427	6.756	1.517
Лауриновая	45.715	47.572	
Миристиновая	14.235	16.390	0.263
Пальмитиновая	8.077	8.304	6.035

*Суммарное содержание линолевой и стеариновой кислот

Для изучения кинетики реакции были проведены опытные синтезы кокосового диэтаноламида при температуре 125 °С и 100 °С.

В ходе опыта с параметрами синтеза (температура 125 °С, избыток ДЭА 3%, катализатор 0.3%) изучено изменение концентрации ДЭА в реакционной среде с течением времени. После 3 – 4 часов протекания реакции концентрация свободного ДЭА остаётся практически неизменной для кокосового масла (рис. 1).

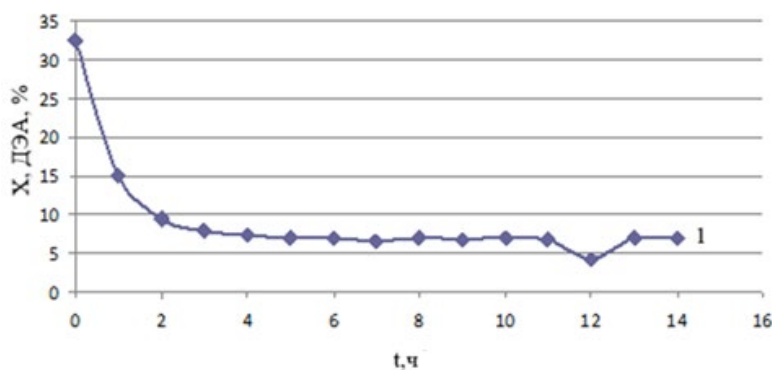


Рис. 1. Изменение концентрации ДЭА в реакционной смеси с течением времени: 1 – концентрация свободного ДЭА остаётся практически неизменной для кокосового масла



Установлено, что реакция амидирования в изученном интервале конверсий (0 – 80%) описывается кинетическим уравнением первого порядка по концентрации триглицеридов. Уравнение имеет вид:

$$-\frac{d[TG]}{dt} = k_{app}[TG],$$

где $[TG]$ – концентрация триглицеридов.

В таблице 4 представлены рассчитанные значения кажущейся энергии активации и селективности образования диэтаноламидов для исследуемых масел. Как отмечено выше, селективность определяли, как отношение количества ДЭА, прореагировавшего с образованием амидной связи, к общему количеству прореагировавшего ДЭА, рассчитывая долю побочного аминоэфирообразования по разности результатов потенциометрии и ГХ.

Таблица 4. Кинетические параметры и селективность синтеза ДЭАЖК

Масло	Селективность по ДЭАЖК, %		E_a , кДж/моль*
	100 °С	125 °С	
Кокосовое	94.2	89.1	68
Пальмоядровое	93.8	88.5	71
Подсолнечное	96.1	91.3	64

*Рассчитано по уравнению Аррениуса на основе констант скорости при двух температурах

Снижение температуры со 125 °С до 100 °С приводит к уменьшению константы скорости лишь в 1.1 – 1.2 раза, что соответствует рассчитанным значениям E_a в диапазоне 64–71 кДж/моль. При этом селективность образования целевых диэтаноламидов возрастает на 4–6%, что объясняется подавлением конкурирующей реакции этерификации с образованием аминоэфиров.

При анализе кокосового диэтаноламида содержание остаточного ГХ ниже, чем по данным потенциометрического титрования. Причиной этого является образование побочных аминоэфиров, завышающих результаты титрования. При 125 °С доля этих соединений возрастает, что увеличивает расхождение между этими методами, а именно: метод титрования показывает сумму всех оснований, а ГХ-метод в свою очередь – только свободный ДЭА. Из этого следует, что для избирательного определения именно свободного ДЭА наиболее предпочтительным является газохроматографический метод.

В ходе синтеза ДЭАЖК кокосового масла при 100 °С было изучено течение реакции и произведено сопоставление результатов потенциометрического и ГХ-анализов (рис. 2).

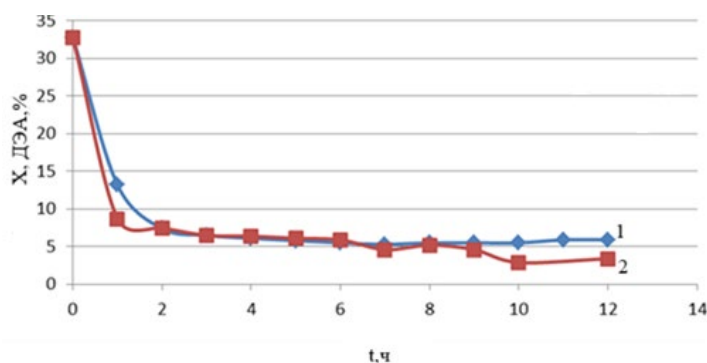


Рис. 2. Изменение концентрации ДЭА в реакционной смеси с течением времени при синтезе кокосового диэтаноламида (100 °С, избыток ДЭА 3 %): 1 – метод потенциометрического титрования; 2 – метод газожидкостной хроматографии.



Из рисунка 2 видно, что при проведении реакции при 100 °С результаты анализа методом потенциометрического титрования и ГХ практически совпадают. При 100 °С расхождение между методами не превышает 0.5%, что подтверждает подавление побочной реакции этерификации.

Кроме того, титрование продукта, полученного при 100 °С, дает более явно выраженный скачок рН и, как следствие, более точное определение конечной точки титрования. Примеры кривых титрования представлены на рисунке 3.

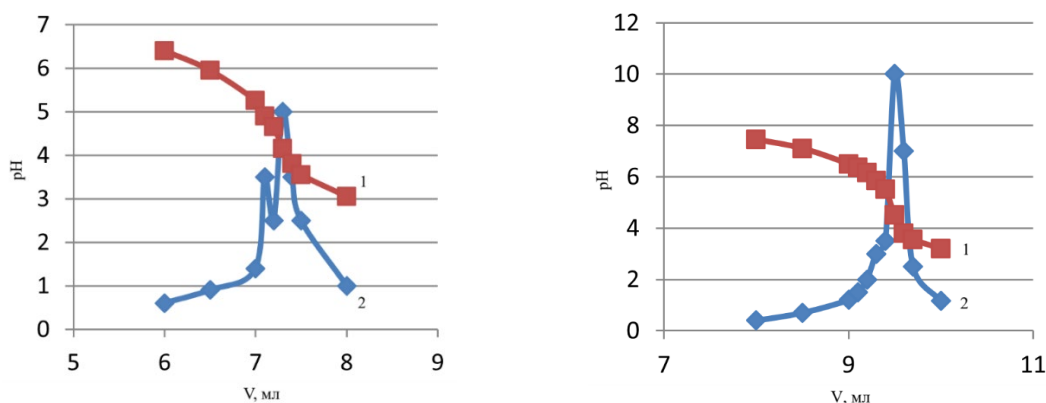


Рис. 3. Типичные примеры кривых титрования проб алканоламида, полученных при 125 °С (слева) и 100 °С (справа): 1 – кривая титрования (зависимость рН от объёма титранта V), 2 – кривая первой производной (зависимость $\Delta \text{pH} / \Delta V$ от объёма титранта V)

Различие в начальных значениях рН обусловлено разным содержанием основных компонентов (свободного амина и аминоксифиров) в пробах, полученных при разных температурах. При 100 °С среда более щелочная из-за отсутствия кислых побочных продуктов реакции этерификации.

На основании полученных данных более предпочтительным выглядит проведение синтеза при температуре 100 °С, при времени процесса 4 ч.

Выводы

1. Оптимизирована методика синтеза диэтаноламинов жирных кислот из кокосового, пальмоядрового и подсолнечного масел с выходом целевых продуктов 88–92% при температуре 100 °С и длительности процесса 3–4 ч.

2. На основе анализа жирнокислотного состава и сопоставления с общеизвестными для алканоламинов зависимостями структура – свойство [10–12] подтверждено, что функциональные свойства полученных ПАВ определяются жирнокислотным составом сырья: лауриновая и миристиновая кислоты (кокосовое, пальмоядровое масла) обеспечивают пенообразование, тогда как олеиновая и линолевая кислоты (подсолнечное масло) придают загущающие и эмульгирующие характеристики.

3. Кинетический анализ показал, что реакция амидирования описывается уравнением первого порядка по концентрации триглицеридов; снижение температуры с 125 °С до 100 °С уменьшает скорость процесса незначительно (в 1.1–1.2 раза), но повышает селективность на 4–6% за счёт подавления образования аминоксифиров.



4. Предложены два метода аналитического контроля: потенциометрическое титрование и газожидкостная хроматография. Для количественного определения именно свободного диэтаноламина метод ГХ является предпочтительным, так как исключает влияние на результат побочных продуктов.

Финансирование

Работа выполнена в рамках государственного задания на выполнение научно-исследовательских работ Ивановского государственного химико-технологического университета (Тема № FZZW-2024-0004).

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов в финансовой или какой-либо иной сфере.

Список источников

1. Куленцан А.Л., Марчук Н.А., Башкинов М.Ю., Пузанов А.М., Ширяев М.Ю. Выбросы загрязняющих веществ в ивановской области. *Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва)*, 2025, 69(3), 130-139. DOI: 10.6060/rcj.2025693.15. URL: <https://rcj-isuct.ru/article/view/6731>.
2. Акмалова И.М., Алмазов А.И., Ситдикова Е.В. Диэтаноламид жирных кислот как эффективный антимикробный компонент для моющих средств. Сб. науч. тр. XXI Междунар. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. Перспективы развития фундаментальных наук. Томск: Изд-во Том. политехн. ун-та, 2024, 2, 17–19. URL: <https://elibrary.ru/rqruaf>.
3. Быков Ф.А., Одинцов А.С., Владимирцева Е.Л., Шибанова А.К. Комбинированный материал с повышенной сорбционной активностью на основе природного волокнистого сырья и частиц бентонита. *Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва)*, 2025, 69(4), 77-82. DOI: 10.6060/rcj.2025694.12. URL: <https://rcj-isuct.ru/article/view/6840>.
4. Яковец Н.В., Крутько Н.П., Лукша О.В., Кульбицкая Л.В. Физико-химические свойства эпоксидно-дианового олигомера в присутствии рапсового масла. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*, 2026, 69(2), 111–119. DOI: 10.6060/ivkkt.20266902.7291. URL: <https://ctj-isuct.ru/article/view/6628>.
5. Мишуров В.И., Цуланова А.И. Синтез и исследование ингибиторов углекислотной коррозии на основе амидов жирных кислот. *Изв. вузов. Сев.-Кавказ. регион. Техн. Науки*, 2024, 4(224), 123-129. DOI: 10.17213/1560-3644-2024-4-123-129. URL: <https://elibrary.ru/dvcvcug>.
6. Дмитриева Е.Д., Оськин П.В., Ковалева А.А. Определение коллоидных свойств гуминовых кислот. *Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва)*, 2025, 69(3), 70-78. DOI: 10.6060/rcj.2025693.7. URL: <https://rcj-isuct.ru/article/view/6726>.
7. Эфендиева К.М., Мамедова Н.А. Применение ингибиторов коррозии на основе жирных кислот подсолнечного масла. *Вестн. Башкир. гос. пед. ун-та им. М. Акмуллы*, 2023, 2(70), 20-27. URL: <https://elibrary.ru/geppza>.
8. Лутфуллина Г.Г., Фатхутдинова А.А., Проскурина В.Е. Композиции на основе неионогенного поверхностно-активного вещества из жирных кислот кукурузного масла и диэтаноламина. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*, 2025, 68(6), 83-91. DOI: 10.6060/ivkkt.20256806.7154. URL: <https://ctj-isuct.ru/article/view/6146>.
9. Кондратьев А.В., Тарасова В.В. Разработка технологии получения моно- и диглицеридов жирных кислот из масла ши. *Молодой ученый*, 2024, 9(508), 95-99. URL: <https://moluch.ru/archive/508/111590>.
10. Лутфуллина Г.Г., Валеева Э.Э. Синтез поверхностно-активного средства из природного сырья. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*, 2024, 67(6), 45-54. DOI: 10.6060/ivkkt.20246706.6984. URL: <https://ctj-isuct.ru/article/view/5402>.



11. Сидельников В.Н., Патрушев Ю.В., Шашков М.В. Современные методы анализа многокомпонентных смесей методом газовой хроматографии. *РОСКАТАЛИЗ: сб. тез. докл. IV Рос. конгр. по катализу. Новосибирск: Ин-т катализа им. Г.К. Борескова СО РАН*, 2021, 21-22. URL: <https://elibrary.ru/rrfnak>.
12. Баянов Р.Р., Муфтеева Н.Т., Фахреева А.В., Сергеева Н.А., Рагулин В.В., Телин А.Г., Докичев В.А. Синтез ингибиторов углекислотной коррозии на основе амидов и эфиров жирных кислот таллового масла. *Башикур. хим. ж.*, 2023, **30(4)**, 34-39. DOI: 10.17122/bcj-2023-4-37-40. URL: <https://elibrary.ru/zsvlzd>.
13. Бычек Д.С., Касьянова Л.З., Исламутдинова А.А., Аминова Э.К., Янтурина Я.Р., Соколов И.А. Получение ингибитора коррозии на основе растительных масел. *Электрон. науч. ж. Нефтегазовое дело*, 2023, **2**, 84-96. DOI: 10.17122/ogbus-2023-2-84-96. URL: <https://www.elibrary.ru/nvalxr>.
14. Карпеева И.Э., Зорина А.В., Шихалиев Х.С. Синтез амидов жирных кислот подсолнечного масла. *Вестн. ВГУ. Сер.: Химия. Биология. Фармация*, 2013, **2**, 39-41. URL: <https://www.elibrary.ru/relgsn>.
15. Протопопов А.В., Голод А.В., Бовина А.Е. Амидирование жирных кислот растительного масла. *Сб. тр. Приоритетные направления развития науки и технологий*, 2019, 10-11. URL: <https://www.elibrary.ru/hcwpx>.
16. Забалов М.В., Левина М.А., Тигер Р.П. Различная реакционная способность циклокарбонатсодержащих цепей триглицеридов растительных масел как причина аномальной кинетики уретанообразования с их участием. *Высокомолекулярные соединения. Сер. Б: Химия полимеров*, 2020, **62(5)**, 348-355. DOI: 10.31857/S2308113920050150. URL: <https://www.elibrary.ru/amttjj>.
17. Короткин М.Д., Филатова С.М., Дениева З.Г., Буданова У.А., Себякин Ю.Л. Синтез производных аминокислот на основе диэтаноламина с симметричными и асимметричными радикалами в гидрофобном домене с потенциальной антимикробной активностью. *Тонкие химические технологии*, 2022, **17(1)**, 50-64. DOI: 10.32362/2410-6593-2022-17-1-50-64. URL: <https://www.elibrary.ru/ewioqq>.
18. Lee C.S., Ooi T.L., Chuah C.H., Ahmad S. Synthesis of Palm Oil-Based Diethanolamides. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 2007, **84**, 945-952. DOI: 10.1007/s11746-007-1123-8. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11746-007-1123-8>.
19. Gawali, I.T., Usmani, G.A. Novel Non-ionic Gemini Surfactants from Fatty Acid and Diethanolamine: Synthesis, Surface-Active Properties and Anticorrosion Study. *Chemistry Africa*, 2020, **3**, 75-88. DOI: 10.1007/s42250-019-00107-5. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s42250-019-00107-5>.
20. Qiu L., Li X., Lei R., Deng Sh. Inhibition Performance of Coconut Diethanolamide on Cold Rolled Steel in Trichloroacetic Acid Solution. *Journal of Chinese Society for Corrosion and protection*, 2023, **43(2)**, 301-311. DOI: 10.11902/1005.4537.2022.077. URL: <https://www.jscsp.org/EN/abstract/abstract32081.shtml>.
21. Зотов В.А., Бессонов В.В., Рисник Д.В. Методические аспекты исследования жирных кислот в биологических образцах. *Прикладная биохимия и микробиология*, 2022, **58(1)**, 90-104. DOI: 10.31857/S0555109922010111. URL: <https://www.elibrary.ru/skkqvr>.

Поступила в редакцию 28.05.2026

Одобрена после рецензирования 18.08.2026

Принята к опубликованию 14.09.2026