

2. *Неваленная А. А.* Сравнительный анализ органолептических характеристик диетических чипсов, приготовленных по новой технологии / А. А. Неваленная, Н. В. Долганова // *Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов*. – 2017. – № 3(44). – С. 61–65.
3. *Миронова Д. А.* Технология приготовления снеков из моркови / Д. А. Миронова, С. В. Золотокопова // *Наука и практика - 2019 : Всероссийская междисциплинарная научная конференция : материалы, Астрахань, 21–26 октября 2019 года / ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет»*. – Астрахань: Астраханский государственный технический университет, 2019. – С. 105.
4. *Филоненко П. К.* Сушка пищевых растительных материалов/ П. К. Филоненко// *Пищевая промышленность*. - 2015. - №3. – С. 74–76.

УДК 621.315.615:665.3

## **ВЗАИМОСВЯЗЬ ЖИРНОКИСЛОТНОГО СОСТАВА МАСЛА ЧЕРНОГО ТМИНА С ТЕРМОСТИМУЛИРОВАННЫМ ТОКОВЫМ ОТКЛИКОМ**

*Кадолич Ж. В.<sup>1</sup>, Зотов С. В.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого  
e-mail: kadolich@gstu.by*

<sup>2</sup>*Институт механики металлополимерных систем имени  
В. А. Белого Национальной академии наук Беларуси*

**Аннотация.** Тема исследования – изучение масла черного тмина как жидкого диэлектрика с помощью метода электретно-термического анализа. Цель исследования – установление характера токового отклика на нагрев образцов масла. В ходе электретно-термического анализа фиксировали термостимулированные токи, являющиеся отражением протекающих в нагреваемых образцах масла черного тмина физико-химических изменений, и сопоставляли его с жирнокислотным составом этого масла. Получен и интерпретирован отличный от нуля токовый спектр, имеющий несколько экстремальных областей. Предложена гипотеза, в соответствии с которой в образцах масла происходит термически стимулированное и сопровождающееся протеканием тока разрушение малостабильных надмолекулярных образований – ассоциатов триглицеридов жирных кислот. Наличие ассоциатов создает в жидкой диэлектрической среде определенную пространственную ориентацию ненасыщенных фрагментов и диполей, разупорядочение которой ведет к движению дипольных и заряженных фрагментов, что и обуславливает токовый отклик. Установлено, что вид спектра термостимулированного тока находится в соответствии с тем, триглицериды каких именно жирных кислот связываются в ассоциаты того или иного типа, различающиеся по термической стабильности. Высказано предположение, что наименее термически стабильными будут являться ассоциаты триглицеридов насыщенных жирных кислот, как содержащие наименьшее число способных к межмолекулярным взаимодействиям активных центров, относительно более стабильными – ассоциаты триглицеридов мононенасыщенных жирных кислот, а наиболее стабильными – ассоциаты триглицеридов полиненасыщенных жирных кислот. Изменение спектра термостимулированных токов в сравнении с характеристическим спектром для данного вида масла может считаться маркером порчи или фальсификации.

**Ключевые слова:** масло черного тмина, электретно-термический анализ, термостимулированный ток, жирные кислоты.

## THE RELATIONSHIP OF THE FATTY ACID COMPOSITION OF BLACK CUMIN OIL WITH A THERMALLY STIMULATED CURRENT RESPONSE

*Kadolich Zh. V.<sup>1</sup>, Zotov S. V.<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>Gomel State Technical University named after P.O. Sukhoi*

*e-mail: kadolich@gstu.by*

*<sup>2</sup>State Scientific Institution «Institute of Mechanics of Metal Polymer Research Institute named after V. A. Belyi of National Academy of Sciences of Belarus»*

**Abstract.** The research topic is the study of black cumin oil as a liquid dielectric using the method of electret-thermal analysis. The purpose of the study is to establish the nature of the current response to heating of oil samples. During the electret-thermal analysis, thermally stimulated currents were recorded, which are a reflection of the physico-chemical changes occurring in the heated samples of black cumin oil, and compared it with the fatty acid composition of this oil. A non-zero current spectrum having several extreme regions is obtained and interpreted. A hypothesis is discussed according to which thermally stimulated destruction of low-stable supramolecular formations - associates of triglycerides of fatty acids occurs in oil samples and is accompanied by the flow of current. The presence of associates creates a certain spatial orientation of unsaturated fragments and dipoles in a liquid dielectric medium, the disordering of which leads to the movement of dipole and charged fragments, which determines the current response. It is established that the type of the spectrum of the thermally stimulated current is in accordance with the triglycerides of which specific fatty acids bind to associates of one type or another, differing in thermal stability. It is suggested that the least thermally stable will be the associates of triglycerides of saturated fatty acids, as containing the smallest number of active centers capable of intermolecular interactions, relatively more stable – the associates of triglycerides of monounsaturated fatty acids, and the most stable – the associates of triglycerides of polyunsaturated fatty acids. A change in the spectrum of thermally stimulated currents in comparison with the characteristic spectrum for this type of oil can be considered a marker of spoilage or falsification.

**Keywords:** black cumin oil, electret-thermal analysis, thermally stimulated current, fatty acids.

**Введение.** Ассортимент пищевых жиров постоянно обновляется. В том числе это происходит за счет экзотических (или деликатесных) видов масел, к которым можно отнести кедровое, тминное, кунжутное, арахисовое и др. В связи с этим, актуальным является расширение номенклатуры методов исследований показателей качества таких масел для получения возможности объективно судить о наличии или отсутствии фальсификаций, ухудшении качественных показателей этих продуктов.

**Цель исследования.** Продемонстрировать возможность анализа масла черного тмина по такому электрофизическому параметру, как токовый отклик на нагревание.

**Материалы и методы.** Основным фактором, определяющим потребительские свойства растительных масел, является их химический состав, который

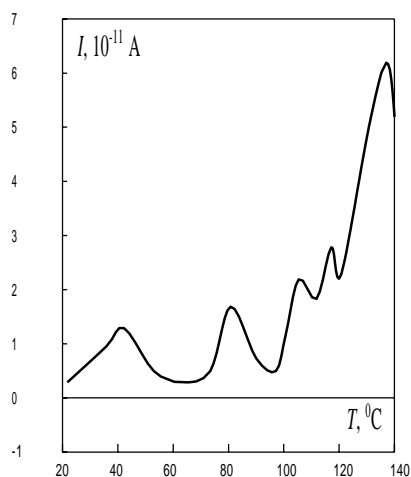
обычно представлен триглицеридами моно-, полиненасыщенных и насыщенных жирных кислот [1]. Имеющиеся экспериментальные данные фиксируют информацию только о совокупном содержании остатков жирных кислот. В то же время механизм связывания этих остатков в триглицериды и состав последних остаются малоизученными. Оптимальным было бы использование такого метода анализа масел, который позволил бы получить и интерпретировать характеризующий тот или иной вид растительного масла сигнал в виде некоторого физического параметра [2]. Мы считаем, что это возможно при использовании электретно-термического анализа (ЭТА), который позволяет при нагреве диэлектрического материала (вещества) получить токовый отклик [3]. Данный метод основан на нагревании анализируемого образца, размещенного между заземленным и измерительным электродами, и получении графиков зависимости протекающего во внешней цепи электрического тока от температуры – спектров термостимулированных токов (ТСТ). Ток возникает в образце при его нагреве с постоянной скоростью, поляризованные компоненты которого деполяризуются, вследствие чего происходит движение носителей электрических зарядов. Метод ЭТА пригоден для изучения диэлектрических объектов (сред) различного химического состава и происхождения, в структуре которых существуют связанные электрические заряды [4].

Методика эксперимента предусматривала предварительное интенсивное механическое смешение диэлектрического носителя с анализируемым образцом растительного масла в соотношении 2:1 при общей массе смеси до 0,5 г, размещение полученной смеси на нижнем электроде, использование поверх смеси пленки из политетрафторэтилена, помещение поверх пленки верхнего электрода (с прижатием), размещение электродной системы в ячейке, равномерный нагрев системы, регистрацию спектра ТСТ и сохранение полученных данных в цифровом формате. Предложенная схема призвана обеспечить более высокую воспроизводимость результатов анализа. Представленные в работе спектры ТСТ являются графическим усреднением 10 спектров.

В качестве объекта исследования выбрано масло черного тмина («Аль Жасмин», Египет), относящееся к группе экзотических и имеющее высокую биологическую ценность, особенно ввиду наличия в составе уникальных жирных кислот. В частности, масло черного тмина содержит более 100 различных компонентов и около 50 катализаторов естественного биосинтеза клеток, которые ускоряют биологические реакции. Основные компоненты – производные насыщенных жирных кислот (стеариновая до 3,5 %, пальмитиновая до 14 %), мононенасыщенных жирных кислот (олеиновая 15–18 %), полиненасыщенных жирных кислот (линолевая 55–65 %), а также миристиновой, бегеновой, маргариновой, арахидиновой, пентадекановой, пальмитолеиновой кислот.

**Результаты исследований и обсуждение.** Экспериментально установлено, что масло черного тмина в ходе ЭТА демонстрирует спектр ТСТ, представленный на рисунке и имеющий несколько экстремумов с интенсивностью в диапазоне  $10^{-12}$ – $10^{-11}$  А (а именно, три основные группы токовых пиков), которые свидетельствуют о релаксации поляризационного заряда в определенных температурных диапазонах. Растительные масла являются диэлектрическими средами, потому что содержат триглицериды жирных кислот, имеющие ненасыщенные фрагменты (т.е. избыточный заряд) и обладающие дипольным моментом (т.е. способные поляризовать-

ся). Выводы о поляризационном заряде в жидком диэлектрике и об общих механизмах, в соответствии с которыми этот заряд релаксирует при нагревании, основаны на выдвинутой авторами гипотезе о существовании надмолекулярных образований – ассоциатов, которые объединяют несколько молекул триглицериды определенных жирных кислот [2]. В свою очередь, наличие ассоциатов создает определенную пространственную ориентацию ненасыщенных фрагментов и диполей. Можно предположить, что наименее термически стабильными будут ассоциаты триглицеридов насыщенных кислот (тип 1), как содержащие наименьшее число способных к межмолекулярным взаимодействиям активных центров, относительно более стабильными – триглицеридов мононенасыщенных кислот (тип 2), а наиболее стабильными – триглицеридов полиненасыщенных кислот (тип 3). В то же время термически стимулированный распад ассоциатов, объединяющих триглицериды как полярные химические соединения, неизбежно сопровождается движением дипольных и заряженных фрагментов. Это движение дает определенный электрофизический отклик – протекание тока (ТСТ). На основании изложенного следует соотносить низкотемпературные ТСТ с распадом малостабильных ассоциатов типа 1, среднетемпературные – типа 2 и высокотемпературные – типа 3.



**Рис.** Спектр ТСТ масла черного тмина

В соответствии с приведенными выше рассуждениями, три основные группы пиков на спектре ТСТ масла черного тмина интерпретируются следующим образом: низкотемпературная группа пиков (40–45 °С) относится к распаду ассоциатов насыщенных жирных кислот, среднетемпературная (75–85 °С) иллюстрирует распад ассоциатов мононенасыщенных кислот, а высокотемпературная (выше 100 °С) отвечает распаду ассоциатов полиненасыщенных жирных кислот и, вероятно, еще более термостабильных ассоциатов смешанного состава.

Полученные экспериментальные результаты иллюстрируют возможности, которые предоставляет ЭТА в отношении малоизученных, но набирающих популярность на отечественном потребительском рынке экзотических видов растительных масел. Так, спектр ТСТ масла черного тмина фиксирует отличный от нуля токовый отклик на инициированные нагревом физико-химические процессы распада малостабильных ассоциатов, в которые тем или иным образом связаны триглицериды жирных кислот. Распад ассоциатов, построенных из остатков определенных жирных кислот, происходит в определенном температурном диапазоне и

находится в соответствии с прочностью связывания триглицеридов, которая, в свою очередь, зависит от наличия в остатках жирных кислот активных центров, определяющих характер связывания. Такими активными центрами могут служить ненасыщенные связи в жирных кислотах. Поэтому ассоциаты триглицеридов насыщенных кислот оказываются наименее стабильными (малая вероятность физического и крайне малая вероятность физико-химического взаимодействия), мононенасыщенных кислот – среднестабильными (высокая вероятность физико-химического межмолекулярного связывания по принципу донорно-акцепторного взаимодействия с перераспределением электронной плотности по всему надмолекулярному образованию), а полиненасыщенных кислот – наиболее стабильными (наибольшая возможность донорно-акцепторного взаимодействия с участием большего количества ненасыщенных групп). При этом вполне вероятно, что в составе растительных масел имеются ассоциаты более сложного состава, связывающие триглицериды разных кислот.

**Заключение.** На основании полученных результатов можно сделать вывод, что метод ЭТА позволяет получить результат в виде токового сигнала, находящегося в соответствии с жирнокислотным составом того или иного вида растительного масла. Несоответствие пиков ТСТ анализируемого образца характеристическому для него токовому спектру может считаться критерием как несоответствия жирнокислотного состава заявленному, так и признаком начавшейся или уже состоявшейся порчи конкретного вида масла.

#### Список литературы

1. *Маркевич Р. М.* Химия жиров : тексты лекций / Р. М. Маркевич, Ж. В. Бондаренко. – Минск : БГТУ, 2011. – 218 с.
2. *Кадолич Ж. В.* Возможности электротно-термического анализа при исследовании полисахаридов и пищевых жиров / Ж. В. Кадолич, С. В. Зотов // Вестник технологического университета (г. Казань, Россия). – 2018. – № 9 (21). – С. 16–21.
3. Пластмассы и пленки полимерные. Методы определения поверхностных зарядов электретов: ГОСТ 25209-82. – Введ. 01.01.82. – Москва : Госкомитет СССР по стандартам, 1982. – 12 с.
4. Kestelman, V. Electrets in engineering: fundamentals and applications / V. Kestelman , L. Pinchuk , V. Goldade . – Boston: Kluwer Academic Publishers, 2000. – 381 p.

УДК 641.1

### ПУТИ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ ЙОДОДЕФИЦИТА В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

*Кирьянова Г. П., Бронникова В. В.*  
*АНООВО ЦС РФ Российский университет кооперации*  
*e-mail: gkiriyanova@ruc.su, vbronnikova@ruc.su*

**Аннотация.** В статье дается анализ йододефицитных состояний, что приводит к возникновению ряда заболеваний. В Российской Федерации большое внимание уделяется ликвидации дефицита йода. Дается обзор способов ликвидации дефицита йода в питании путем обогащения пищевых продуктов различными добавками.