

Ж. В. Кадолич, С. В. Зотов

**РАСШИРЕНИЕ АРСЕНАЛА ФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ
ИССЛЕДОВАНИЯ ЖИДКИХ ДИЭЛЕКТРИКОВ
НА ПРИМЕРЕ ЭКЗОТИЧЕСКИХ ВИДОВ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЕЛ**

96

Тема исследования: применимость физического метода – электретно-термического анализа – к изучению жидких диэлектриков, которые представлены некоторыми экзотическими видами пищевых растительных масел.

Цель научного исследования: установление взаимосвязи токового отклика на нагрев образцов масел с их жирнокислотным составом.

Описание методологии исследования: для анализа образцов растительных масел (тыквенного, грецких орехов, черного тмина) использован широко применяющийся в физике конденсированного состояния метод электретно-термического анализа. При реализации этого метода в ходе нагрева образцов фиксируется токовый отклик на протекающие в них физико-химические изменения, который сопоставляется с жирнокислотным составом масел.

Основные результаты, выводы исследовательской работы: на основании существования отличного от нуля токового отклика выдвинута гипотеза, в соответствии с которой в образцах происходит термически стимулированное и сопровождающееся протеканием тока разрушение малостабильных надмолекулярных образований – ассоциатов триглицеридов жирных кислот. Установлено, что вид спектра термостимулированного тока находится в очевидном соответствии с тем, триглицериды каких именно специфических жирных кислот преобладают в составе того или иного масла. Изменение токового спектра в сравнении с характеристическим спектром для данного вида масла может считаться маркером порчи или фальсификации.

Research topic: the applicability of an external feature – electret-thermal analysis – to the study of liquid dielectrics, which are exotic types of edible vegetable oils.

The purpose of scientific research: to establish the relationship of the current response with heating of oil samples with their fatty acid composition.

Description of the research methodology: for the analysis of samples of vegetable oils (pumpkin, walnuts, black cumin), the method of electret-thermal analysis, that is widely used in condensed matter physics, was applied. When this method is implemented, during the heating of samples, a current response to the physicochemical changes occurring in them is recorded, which is compared with the fatty acid oils composition.

The main results, conclusions of the research work: based on the existence of a non-zero current response, a hypothesis is put forward that thermally stimulated and accompanied by the flow of current destruction of unstable supramolecular formations – associates of fatty acid triglycerides – occur in the samples. It has been established that the spectrum type of the thermally stimulated current is in obvious accordance with the fact which triglycerides of which specific fatty acids prevail in the composition of a particular oil. A change in the current spectrum in comparison with the characteristic spectrum for this oil type can be considered a marker of damage or falsification.



Ключевые слова: жидкие диэлектрики, растительные масла, жирнокислотный состав, электретно-термический анализ.

Keywords: liquid dielectrics, vegetable oils, fatty acid composition, electret-thermal analysis.

Введение

Потребительский рынок растительных масел в течение последних десятилетий активно обновляется. Помимо традиционных и привычных для постсоветского покупателя видов масел (подсолнечное, рапсовое, кукурузное, оливковое), ему предлагается все больше новых, среди которых льняное, тыквенное, кунжутное, кедровое, тминное и др. Можно предполагать, что данный ассортимент, призванный удовлетворить любым запросам потребителя, будет постоянно обновляться. Поэтому существует актуальность в расширении арсенала методов исследования, позволяющих судить о показателях качества масел. Кроме того, необходимость установления преграды на пути проникновения фальсификата — один из важных аргументов в пользу совершенствования классических методов анализа любой продукции.

Оценка качества — сложная аналитическая задача, при ее решении следует не только правильно выбрать метод анализа, но и учитывать особенности состава, физико-химической структуры и свойства исследуемого объекта, которые в значительной мере определяют параметры, регистрируемые в ходе лабораторного эксперимента. Для оценки качества растительных масел применяют широкий арсенал методов исследования, позволяющих определить вкус, запах, прозрачность, кислотное, перекисное и йодное числа, показатель преломления, содержание влаги, число омыления и др. [1; 2]. Для определения физико-химических показателей масел используют спектр лабораторных методов анализа (ИК-спектроскопия, термогравиметрия, хроматография, УФ-спектрометрия и т.д.). Кроме того, ведутся исследования, основанные на методе рентгеновской флуоресцентной спектроскопии, явлении ядерного магнитного резонанса, измерении проводимости, вязкости, диэлектрической проницаемости и др. показателей, отражающих степень окисления масла, его загрязненность продуктами окисления, гидролиза и т.д. [3]. Общая окислительная стабильность натуральных масел и жиров может быть определена методом Rancimat, основанном на окислении молекул масла или жира с образованием первичного (пероксиды) и вторичного (образовавшиеся после разложения жирных кислот низкомолекулярные органические кислоты) продуктов окисления, которые растворяются в воде, после чего по изменению электропроводности судят о содержании кислот, а по продолжительности индукционного периода до появления вторичных продуктов — об индексе стабильности масла [4].

Основной фактор, определяющий потребительские свойства растительных масел, — их химический состав. Он преимущественно представлен триглицеридами моно-, полиненасыщенных и насыщенных



жирных кислот [5]. Результаты комплексного экспериментального исследования физико-химических свойств полученных из различных масел смесей эфиров жирных кислот даны в работе [6]. Однако использованные лабораторные методы позволили получить информацию только о совокупном содержании остатков жирных кислот, но не о специфических для каждого масла особенностях их связывания в триглицериды, взаимодействия с другими компонентами масел и др., что особенно важно при определении признаков порчи или фальсификаций продукта. Существует необходимость использования метода анализа, который позволил бы получить и интерпретировать некий сигнал, характеризующий тот или иной вид растительного масла [2], причем отступление от этого сигнала было бы обоснованным признаком несоответствия анализируемого образца заявленным характеристикам.

Цель работы – продемонстрировать естественнонаучный подход к оценке растительных масел с помощью стандартного для изучения диэлектриков физического метода исследования – метода электротермического анализа (ЭТА), который в данной работе применен в отношении экзотических (деликатесных) разновидностей масел.

Материалы и методы исследований

В качестве исследуемых объектов выбраны масла тыквенное, грецких орехов и черного тмина (табл. 1). Перечисленные разновидности масел, сравнительно недавно появившиеся в свободном доступе на отечественном рынке, можно отнести к группе деликатесных или экзотических. Ряд исследований указывает на их высокую пищевую и биологическую полезность, особенно ввиду наличия сочетания уникальных жирных кислот.

Таблица 1

Характеристика исследуемых образцов масла

Разновидность масла	Номер образца	Особенность образца
Тыквенное нерафинированное	1	Изготовитель – ООО «Натуральные масла», Россия, Московская обл., г. Солнечногорск; масло приобретено в торговой сети
	2	Изготовитель – ООО «Золотой кедр», Россия, г. Новосибирск; масло приобретено в аптечной сети; класс экстра
Грецких орехов пищевое нерафинированное	3	Изготовитель – ООО «Натуральные масла», Россия, Московская обл., г. Солнечногорск; масло приобретено в торговой сети
Черного тмина	4	Изготовитель – фабрика «Аль Жасмин», Египет, провинция Эль-Файюм; масло приобретено в фирменном объекте торговой сети по месту изготовления



Тыквенное масло — одно из самых полезных для здоровья. В его состав помимо триглицеридов входят эфирные масла, белки, пектины, стерины, гормоноподобные вещества, фосфолипиды, флавоноиды, токоферолы, каротиноиды, витамины А, Е, F, С, К, В₁, В₂, Р. Как видно из таблицы 2, жирнокислотный состав достаточно сложен.

Таблица 2

Жирнокислотный состав тыквенного масла

Название кислоты	Общая формула	Класс	Содержание, %
Миристиновая	C ₁₃ H ₂₇ COOH	Насыщенная	0,2
Пальмитиновая	C ₁₅ H ₃₁ COOH	Насыщенная	6 – 15
Пальмитолеиновая	C ₁₅ H ₂₉ COOH	Мононенасыщенная	<0,5
Стеариновая	C ₁₇ H ₃₅ COOH	Насыщенная	6 – 7,5
Олеиновая	C ₁₇ H ₃₃ COOH	Мононенасыщенная	18 – 47
Линолевая	C ₁₇ H ₃₁ COOH	Поли(ди-)ненасыщенная	30 – 48
Линоленовая	C ₁₇ H ₂₉ COOH	Поли(три-)ненасыщенная	15
Арахидиновая	C ₁₉ H ₃₉ COOH	Насыщенная	<0,8
Гадолеиновая	C ₁₉ H ₃₇ COOH	Мононенасыщенная	<0,5
Бегеновая	C ₂₁ H ₄₃ COOH	Насыщенная	<0,4
Эруковая	C ₂₁ H ₄₁ COOH	Мононенасыщенная	<0,3
Лигноцериновая	C ₂₃ H ₄₇ COOH	Насыщенная	<0,5

Источник: [7; 8].

Масло грецких орехов содержит фосфор, медь, цинк, магний, железо, кальций, йод, кобальт, фитостерины, сфинголипиды и фосфолипиды, каротиноиды, витамины В, РР, А, К, С и в рекордных количествах витамин Е. Группа насыщенных жирных кислот представлена пальмитиновой (6 %), стеариновой (2 %), арахидиновой (0,2 %) кислотами. Из мононенасыщенных жирных кислот в составе идентифицирована олеиновая (22 %), из полиненасыщенных — линолевая (54 %) и альфа-линоленовая (10 %) [9].

Масло черного тмина содержат более 100 различных компонентов и около 50 катализаторов естественного биосинтеза клеток, которые ускоряют биологические реакции. Среди них липаза (помогает переваривать и растворять жиры, обеспечивая таким образом доставку жирных кислот к тканям организма), токоферолы (являются главным питательным веществом-антиоксидантом, участвуют во всех репродуктивных процессах), флавоноиды (участвуют в окислительно-восстановительных реакциях организма), дубильные вещества (препятствуют распространению инфекции), алкалоиды (защищают организм от внешних воздействий), катехины (сильные антиоксиданты, укрепляют иммунную систему), цитокинины (стимулируют деление клеток), ферменты (катализируют химические реакции в организме, регулируя обмен веществ), минеральные соли, провитамины групп А, В, Р, Е, минералы, кальций, железо, медь, цинк, фосфор. В состав масла входят насыщенные жирные кислоты — стеариновая (до 3,5 %) и пальмитиновая (до 14 %), мононенасыщенные жирные кислоты — олеиновая (15–18 %),

полиненасыщенные жирные кислоты – линолевая (55–65 %). Также присутствуют миристиновая, бегеновая, маргариновая, арахидовая, пентадекановая, пальмитолеиновая кислоты [10].

Часто встречающиеся утверждения о перспективности электрофизических и/или электромагнитных методов при оценке свойств и структуры жидких сред [11; 12] предопределили выбор метода исследования – стандартизированный метод ЭТА [13]. 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), по характеру которых анализируют процессы релаксации в образце электретыного заряда. Ток возникает в образце при его нагреве с постоянной скоростью, поляризованные компоненты образца депольризуются, вследствие чего происходит движение носителей электрических зарядов. Фактически ЭТА пригоден для изучения диэлектрических объектов (сред) различного химического состава и происхождения, в структуре которых существуют связанные электрические заряды, способные высвободиться при нагревании [14–16].

Функциональная схема измерительного комплекса для проведения ЭТА представлена на рисунке 1.

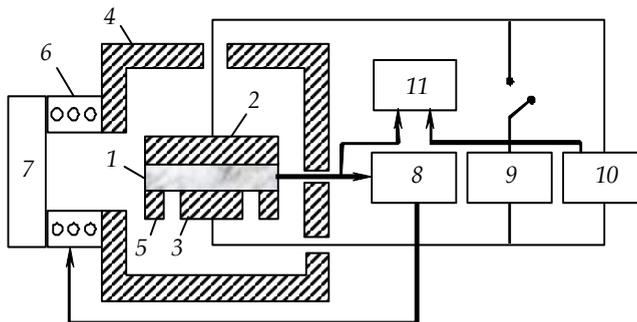


Рис. 1. Блок-схема установки для проведения ЭТА:

1 – исследуемый образец; 2 и 3 – измерительные электроды; 4 – измерительная камера; 5 – охранный электрод; 6 – нагреватель; 7 – система охлаждения; 8 – регулятор температуры; 9 – вольтметр; 10 – усилитель; 11 – устройство вывода результатов

Обоснование применимости метода ЭТА для анализа некоторых популярных видов растительных масел впервые дано в работе [2]. Растительные масла являются диэлектрическими средами благодаря следующим своим особенностям:

- содержат триглицериды жирных кислот, имеющие ненасыщенные фрагменты (то есть избыточный заряд) и обладающие дипольным моментом (то есть способные поляризоваться);

- содержат надмолекулярные малостабильные структуры (ассоциаты), в которых вышеупомянутые триглицериды определенным образом связаны, за счет чего создается определенная пространственная ориентация ненасыщенных фрагментов и диполей.

Проведенные авторами исследования позволили установить, что отличный от нуля ТСТ в диапазоне 20–120 °С фиксируется при ЭТА подсолнечного, рапсового, льняного, пальмового и других разновидностей растительных масел, причем вид токового спектра коррелирует с жирнокислотным составом этих масел [17; 18]. В процессе исследований также решена одна из методологических проблем применения ЭТА для анализа жидкостей, связанная с опасностью растекания жидкой среды по электроду с нарушением принципа взаимной изоляции электродов. Применен «носитель» диэлектрической жидкости – мелкодисперсный порошок кварца или диоксида титана [19]. 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 (рис. 2), размещение поверх смеси диэлектрического зазора в виде пленки из политетрафторэтилена толщиной 10 мкм, помещение поверх пленки верхнего электрода с прижатием, размещение электродной системы в ячейке, равномерный нагрев, регистрацию спектра ТСТ и сохранение данных в цифровом виде с помощью компьютерной программы. Предложенная схема призвана обеспечить более высокую воспроизводимость результатов анализа с получением точных значений положения токовых максимумов по температурной шкале. Представленные далее на рисунках 3–5 спектры ТСТ являются графическим усреднением 10 спектров образцов.

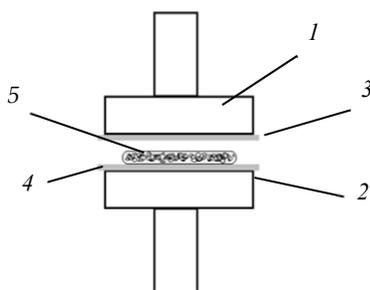


Рис. 2. Экспериментальный вариант расположения образцов растительных масел в системе электродов:

- 1 – верхний (измерительный) электрод; 2 – нижний (заземленный) электрод;
- 3 – тефлоновая прокладка для обеспечения регулируемого зазора;
- 4 – алюминиевая фольга (необходима для облегчения очистки электрода после ЭТА);
- 5 – образец масла (с «носителем»)

Результаты и их обсуждение

1. Тыквенное масло. Результаты ЭТА образцов тыквенного масла представлены на рисунке 3. Анализ полученных экспериментальных данных позволяет сделать вывод о наличии на спектре ТСТ трех выраженных групп токовых пиков, интенсивность которых находится в пределах нескольких пикоамперов (10^{-12} А): низкотемпературные пики (как правило, один) в сравнительно узком диапазоне 40–50 °С, среднетемпературные пики (как правило, один, реже два) в более широком диапазоне 65–90 °С и последующие высокотемпературные пики. Эти



данные согласуются с тремя видами жирных кислот, триглицериды которых преобладают в составе тыквенного масла: насыщенными, мононенасыщенными и полиненасыщенными. В подтверждение ранее выдвинутой гипотезы о существовании ассоциатов, в которые связываются триглицериды определенных жирных кислот, можно полагать, что наименее термически стабильными будут ассоциаты триглицеридов насыщенных кислот (тип 1) как содержащие наименьшее число способных к межмолекулярным взаимодействиям активных центров, относительно более стабильными – ассоциаты триглицеридов мононенасыщенных кислот (тип 2), а наиболее стабильными – ассоциаты триглицеридов полиненасыщенных кислот (тип 3). На основании этого следует соотнести низкотемпературную группу ТСТ с распадом мало-стабильных ассоциатов типа (1), среднетемпературную – типа (2) и высокотемпературную – типа (3) [8].

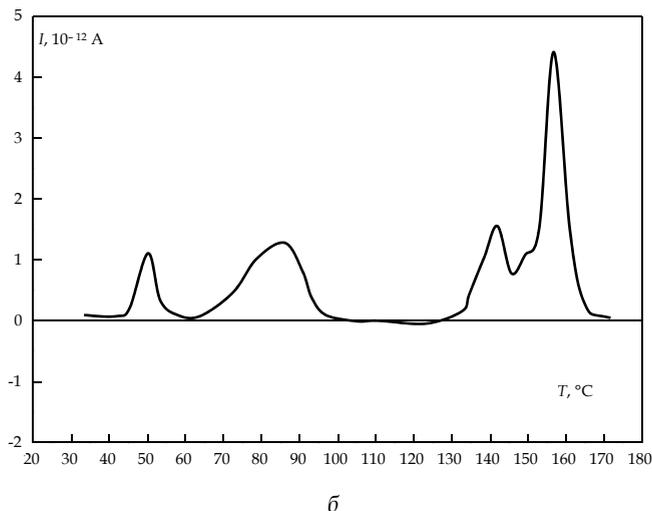
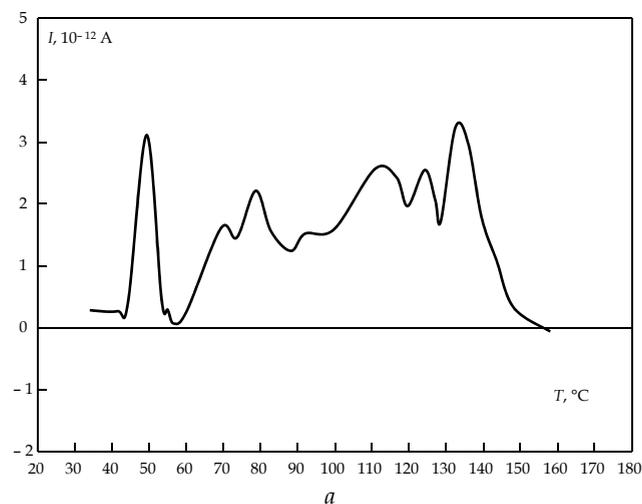


Рис. 3. Спектры ТСТ образцов тыквенного масла:
а – образец 1; б – образец 2



Пик ТСТ, отвечающий ассоциатам типа (3), является мультиплетным. Это может быть обусловлено следующими причинами:

- высокой термической стабильностью и значительным содержанием в тыквенном масле ассоциатов триглицеридов линолевой кислоты;
- способностью триглицеридов линолевой кислоты связываться в ассоциаты с триглицеридами других кислот, что усложняет структуру координационных связей и повышает стабильность кооперативных образований;

- вероятностью того, что в температурном диапазоне до 100 °С происходит не только термораспад малостабильных ассоциатов, но и рекомбинация триглицеридов различных кислот в более сложные и несколько более стабильные структуры, повторное разложение которых идет при более высоких температурах.

При анализе спектра ТСТ на рисунке 3, б обращает на себя внимание перекрывание нескольких токовых пиков в среднетемпературной области. Вероятно, образец 2 отличается усложненным характером связывания триглицеридов в ассоциаты, которые могут содержать остатки кислот разных типов, а не одного, как предполагалось ранее. Подобное поведение может быть обусловлено особенностями производства тыквенных масел различного сорта, спецификой проведения рафинации и доведения до категории качества «экстра».

2. Масло грецких орехов. Масло грецких орехов демонстрирует в ходе ЭТА спектры ТСТ, представленные на рисунке 4.

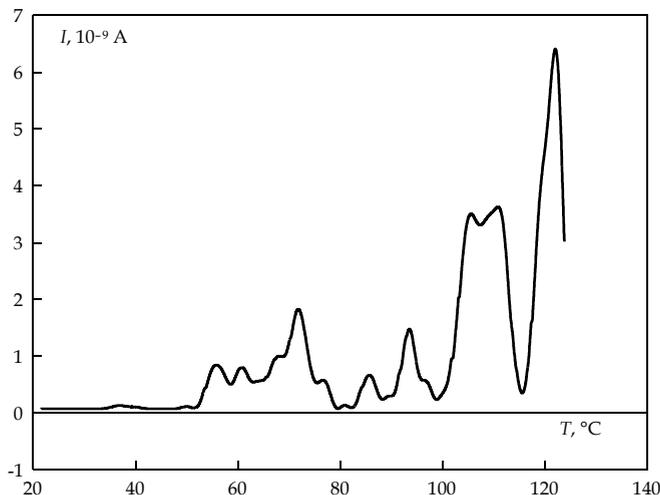


Рис. 4. Спектр ТСТ масла грецких орехов (образец 3)

Имеют место несколько выраженных групп токовых пиков — в диапазонах 50–60, 75, 85 и 95 °С, которые могут быть соотнесены с несколькими группами нестабильных ассоциатов, сформированными по принципу взаимодействия триглицеридов определенных жирных кислот. Высокотемпературные (выше 100 °С) пики ТСТ, как и для тыквенного масла, могут быть связаны со вторичными процессами распада более



сложных, в том числе вторичных, структур. Обращает на себя внимание аномально сильный сигнал ТСТ масла грецких орехов — до 10^{-9} А, причиной чего может быть более высокая степень координации триглицеридов жирных кислот в ассоциаты с образованием большего количества внутри- и межмолекулярных связей. Этому может способствовать, например, каталитическое воздействие некоторых веществ, в малой концентрации присутствующих в масле грецких орехов.

3. Масло черного тмина. Масло черного тмина в ходе ЭТА демонстрирует спектр ТСТ, представленный на рисунке 5. Имеются три основные группы пиков: низкотемпературная ($40-45^{\circ}\text{C}$), интерпретируемая нами как относящаяся к распаду ассоциатов насыщенных жирных кислот, среднетемпературная ($75-85^{\circ}\text{C}$), иллюстрирующая распад ассоциатов мононенасыщенных кислот, и высокотемпературная (выше 100°C), отвечающая распаду ассоциатов полиненасыщенных жирных кислот и, дополнительно, еще более устойчивых ассоциатов смешанного состава. Точковый сигнал превышает таковой для тыквенного масла и находится в диапазоне 10^{-11} А, что, как и для масла грецких орехов, может свидетельствовать о каталитическом действии веществ, присутствующих в масле помимо триглицеридов жирных кислот.

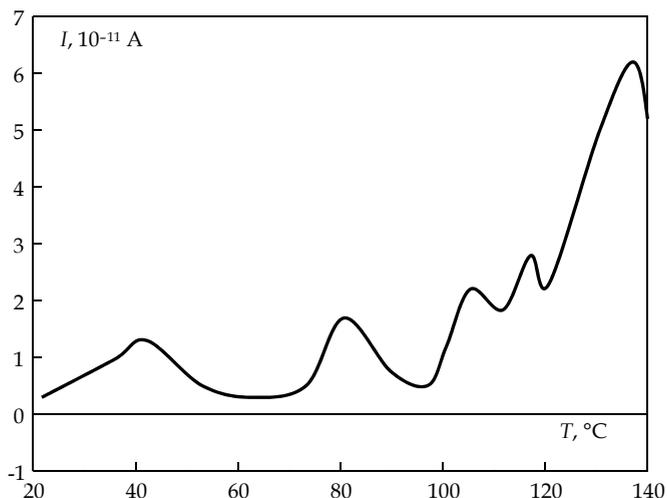


Рис. 5. Спектр ТСТ масла черного тмина (образец 4)

Заключение

Полученные экспериментальные результаты иллюстрируют возможности, которые предоставляет физический метод исследования (ЭТА) в отношении недостаточно изученных, но набирающих популярность на отечественном потребительском рынке экзотических видов растительных масел. Установлено, что спектр ТСТ масел фиксирует отличный от нуля токовый отклик, который интерпретируется с точки зрения появления инициированных нагревом физико-химических процессов распада малостабильных ассоциатов — структур, тем или



иным образом связывающих 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 подобного связывания. С учетом структуры триглицеридов, где глицерин по принципу этерификации связывает и блокирует карбоксильную группу, такими активными центрами могут служить преимущественно 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 при общем превалировании ассоциатов, содержащих триглицериды одной определенной кислоты (что может быть связано с биохимией процессов формирования масла в семенах соответствующих растений), в составе растительных масел имеются ассоциаты более сложного состава, связывающие триглицериды разных кислот. Однако последние надмолекулярные образования, как правило, более стабильны, разрушаются при более высоких температурах и не вносят заметных искажений в спектр ТСТ растительных масел в температурных диапазоне по меньшей мере до 100 °С.

Целесообразно сделать вывод о том, что метод ЭТА позволяет получить результат в виде токового сигнала, находящегося в соответствии с жирнокислотным составом того или иного растительного масла. Можно полагать, что несоответствие пиков ТСТ анализируемого образца данного товара полученному на нативном образце «характеристическому» токовому спектру, включая сдвиг пиков или резкое изменение их интенсивности, может считаться как критерием несоответствия жирнокислотного состава заявленному, так и признаком начавшейся или уже произошедшей окислительной порчи конкретного вида масла.

Современная мировая наука нацелена на получение фундаментальных знаний, на основе которых со временем можно создать некий коммерческий продукт. Проведенный эксперимент по ЭТА растительных масел иллюстрирует новое направление в исследовании этого товара. Промежуточным этапом подобных исследований может быть составление словаря-справочника с перечислением жирнокислотного состава различных растительных масел, представления характеристического спектра ТСТ для конкретных видов и описания экспериментально установленных физико-химических соответствий между ними. Ввиду доказанной эффективности метода ЭТА при анализе самых различ-



ных материалов и веществ, содержащих диэлектрические компоненты [8; 14–18], авторы ставят перед собой задачу и далее адаптировать этот метод, применяя его к различным объектам [20].

Список литературы

1. *Касторных М. С., Кузьмина В. А., Пучкова Ю. С.* Товароведение и экспертиза пищевых жиров, молока и молочных продуктов : учебник для вузов. М., 2018.
2. *Кадолич Ж. В., Деликатная И. О., Цветкова Е. А.* Растительные масла: свойства и методы контроля качества // Потребительская кооперация. 2010. №4 (31). С. 78–84.
3. *Криштафович В. И., Криштафович Д. В., Еремеева Н. В.* Физико-химические методы исследования : учебник для бакалавров. М., 2015.
4. *Жиры и масла животные и растительные. Определение устойчивости к окислению (ускоренное испытание на окисление) : ГОСТ Р 53160-2008 (ISO 6886:2006).* М., 2009.
5. *Беззубов Л. П.* Химия жиров. М., 1975.
6. *Антонова З. А., Крук В. С., Максимук Ю. В., Куревич В. Н.* Исследование составов и физико-химических свойств смесей эфиров жирных кислот // Свиридовские чтения : сб. ст. Вып. 10. Минск, 2014. С. 163–177.
7. *Тыквенное масло: черное золото // Масложировая промышленность.* 2008. №6. С. 27–28.
8. *Кадолич Ж. В.* Экспериментальное обоснование применения метода электретно-термического анализа для исследования тыквенного масла // Пищевая промышленность: наука и технологии. 2017. №3 (37). С. 102–108.
9. *Остриков А. Н., Горбатова А. В., Филипов П. В.* Анализ жирнокислотного состава масел арахиса и грецкого ореха // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2016. №4 (12). С. 37–42.
10. *Бондаренко Е. Ю., Пелипенко Т. В.* Масло черного тмина – источник ненасыщенных жирных кислот // Физико-химический анализ свойств многокомпонентных систем. 2007. №5. С. 10.
11. *Магнитные жидкости в машиностроении / Д. В. Орлов, Ю. О. Михалев, Н. К. Мышкин [и др.].* М., 1993.
12. *Иголкин Б. И., Васильева Л. К., Васипов В. В. и др.* Электропроводность растительных масел в зависимости от температуры и частоты электромагнитных колебаний // Научно-технические ведомости СПбГПУ. 2011. №2. С. 278–282.
13. *Пластмассы и пленки полимерные. Методы определения поверхностных зарядов электретов : ГОСТ 25209-82.* М., 1982.
14. *Кравцов А. Г., Гольдаде В. А., Пинчук Л. С., Зотов С. В.* Возможности термоактивационной токовой спектроскопии при изучении электрофизических свойств материалов // Материалы, технологии, инструменты. 2006. №2 (11). С. 104–108.
15. *Pinchuk L. S., Goldade V. A., Sessler G. M.* Electret-thermal analysis of blood // Medical Eng. and Phys. 2002. Vol. 24. P. 361–364.
16. *Кадолич Ж. В.* Физическое модифицирование сопряжений полимер-металл для повышения их износостойкости на основе модифицирования биофизических свойств естественных суставов : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Гомель, 2002.
17. *Кадолич Ж. В., Зотов С. В., Гольдаде В. А.* Экспериментальное обоснование выбора идентификационного признака пальмовых масел // Приборы и методы измерений. 2015. №1 (10). С. 99–104.



18. Кадолич Ж. В., Зотов С. В. Иллюстрация возможностей метода электретно-термического анализа при исследовании растительных масел // Стандартизация. 2018. №4. С. 61–68.

19. Способ термоактивационной токовой спектроскопии пищевого растительного масла : пат. РБ 21764 Респ. Беларусь. №а20150180 ; заявл. 06.04.2015.

20. Кадолич Ж. В., Зотов С. В. Возможности электретно-термического анализа при исследовании полисахаридов и пищевых жиров // Вестник технологического университета. 2018. №9 (21). С. 16–21.

Об авторах

Жанна Владимировна Кадолич — канд. техн. наук, доц., Белорусский торгово-экономический университет потребительской кооперации, Республика Беларусь.

E-mail: cilodak@mail.ru

Сергей Валентинович Зотов — канд. техн. наук, ведущ. науч. сотр., Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого Национальной академии наук Беларуси, Республика Беларусь.

E-mail: zotov-1969@mail.ru

The authors

Dr Zhanna V. Kadolich, Associate Professor, Belarusian Trade and Economic University of Consumer Cooperation, Republic of Belarus.

E-mail: gki@mail.gomel.by

Dr Sergey V. Zotov, Leading Research Fellow, V.A. Belyi Metal-Polymer Research Institute, National Academy of Sciences of Belarus, Republic of Belarus.

E-mail: zotov-1969@mail.ru