

Оригинальная статья / Original article

УДК 543.421:424

DOI: <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2020-10-1-63-76>

Метод рефрактометрии в исследовании полиморфных превращений животных жиров и их купажей

© О.С. Везо*, А.П. Нечипоренко**, Л.В. Плотникова*, У.Ю. Нечипоренко***

* Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

** Национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

*** МК «Народная медицина», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Резюме: Цель работы – сравнительное исследование методом рефрактометрии изменений показателя преломления (n_D) расширенной серии жиров домашних и диких наземных животных и птиц, морских млекопитающих и рыб, а также выборки растительных масел из четырех групп, классифицированных по йодному числу (ИЧ), в процессе двух последовательных циклов – нагревания и охлаждения. В рамках данного исследования проведен анализ купажей жидких и твердых липидов в зависимости от соотношения компонентов (0-20-50-70-100 %). Оптические показатели преломления и ИЧ были измерены на цифровом рефрактометре Abbemat WR/MW (Австрия) при трех длинах волн (436,4; 589,3 и 657,2 нм) в интервале температур от 20 до 70 °С. Для твердых животных жиров и растительных масел на зависимостях нагревания $n_D = f(T, °C)$ в интервале 30–45 °С были отмечены изломы, отвечающие температурам плавления кристаллических полиморфных α - и β_1 -модификаций. При более высоких температурах во всех рассмотренных случаях участки зависимостей имели линейный характер и полностью совпадали с участками в данном температурном интервале с кривыми охлаждения, отражая структурную однородность жидкокристаллической фазы. При температурах ниже 30 °С наблюдался гистерезис: кривые охлаждения проходили ниже кривых нагревания и имели изгибы, отвечающие температурам плавления низкотемпературных α -форм. Обе зависимости повторного цикла плавления–охлаждения совпадали с зависимостью охлаждения первого. Использование приема быстрого охлаждения для жиров, расплавленных при 40, 70 и 90 °С, позволило зафиксировать процессы десатурации жирных кислот в их жидкокристаллической фазе. Исследование купажей говяжьего и свиного жиров показало, что независимо от соотношения компонентов точка плавления α -форм во всех случаях снижается до 25 °С, что заметно ниже точки плавления исходных жиров. Однако при более низких температурах кривые охлаждения расходятся, что может указывать не только на различие температур плавления их низкотемпературных модификаций в зависимости от компонентного состава системы, но и на различие в структурных, оптических и биохимических свойствах.

Ключевые слова: животные жиры; купажи животных жиров; рефрактометрия; структурные, оптические и биохимические свойства

Информация о статье: Дата поступления 30 сентября 2019 г.; дата принятия к печати 25 февраля 2020 г.; дата онлайн-размещения 31 марта 2020 г.

Для цитирования: Везо О.С., Нечипоренко А.П., Плотникова Л.В., Нечипоренко У.Ю. Метод рефрактометрии в исследовании полиморфных превращений животных жиров и их купажей. *Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология*. 2020. Т. 10. N 1. С. 63–76. <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2020-10-1-63-76>

Refractometry study of polymorphic transformations in animal fats and their blends

Olga S. Vezo*, Alla P. Nechiporenko**, Liudmila V. Plotnikova*, Ulyana Yu. Nechiporenko***

* St. Petersburg state University (SPBU), St. Petersburg, Russian Federation

** National research University of Information Technologies, Mechanics and Optics (ITMO), St. Petersburg, Russian Federation

*** МК "Folk medicine", St. Petersburg, Russian Federation

Abstract: The aim of the work is to carrying out a comparative refractometry study of changes in the refractive index (n_D) during consecutive heating-cooling processes for a series of fats obtained from domestic and wild terrestrial animals, birds, marine mammals and fish, as well as a vegetable oil sample of four groups classified by iodine number (IN). Within the framework of the study, an analysis of liquid and solid lipid blends was carried out according to the ratio of components (0-20-50-70-100 %). Optical refractive indices and IN were measured by an Abbemat WR/MW digital refractometer (Austria) at three different wavelengths (436.4, 589.3 and 657.2 nm) in a temperature range from 20 to 70 °C. On the $n_D = f(T, °C)$ heating dependencies in the range of 30-45 °C for solid animal fats and vegetable oils, sharp bends were observed corresponding to the melting temperatures of α - and β_1 crystalline polymorphic modifications. In all the cases considered, the dependency sections were linear at higher temperatures and completely coincided with the cooling curves in the given temperature range, thus reflecting the structural homogeneity of the liquid crystalline phase. At temperatures below 30 °C, hysteresis was observed, resulting in cooling curves passing below the heating curves and containing bends corresponding to the melting temperatures of their low-melting α -forms. Both dependencies of the repeated melting-cooling cycle coincided with the cooling dependency of the first. The use of rapid cooling technique for fats melted at 40, 70 and 90 °C allowed desaturation processes of fatty acids in their liquid crystalline phase to be recorded. Regardless of the component ratio, a study of beef and pork fat blends demonstrated a decrease in the melting point of the α -forms in all cases to 25 °C, i.e. noticeably lower than the melting point of the original fat. However, at lower temperatures, the cooling curves diverge, indicating a difference in the melting temperatures of their low-temperature modifications depending on the component composition of the system, as well as a corresponding difference in structural, optical and biochemical properties.

Keywords: animal fats; animal fat blends; refractometry; structural, optical and biochemical properties

Information about the article: Received September 30, 2019; accepted for publication February 25, 2020; available online March 31, 2020.

For citation: Vezo OS, Nechiporenko AP, Plotnikova LV, Nechiporenko UYu. Refractometry study of polymorphic transformations in animal fats and their blends. *Izvestiya Vuzov. Prikladnaya Khimiya i Biotekhnologiya* = Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology. 2020;10(1):63–76. (In Russian) <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2020-10-1-63-76>

ВВЕДЕНИЕ

Липиды животного происхождения по своему специфически индивидуальному жирнокислотному составу, пищевой и медико-биологической ценности не менее значимы и многообразны, чем растительные. Это определяется в первую очередь видовым разнообразием животных организмов и средой их обитания, что позволяет условно разделить жиры на две группы: жиры наземных теплокровных животных и птиц и жиры морских млекопитающих и рыб.

История использования жиров животного происхождения в качестве лечебных средств начинается с глубокой древности и имеет многовековую практику врачевания [1–3]. Древние лекари оставили для современного человека большой запас знаний по использованию жира птиц, домашних и диких животных для создания лекарственных и косметических форм внутреннего и наружного применения. Но гораздо большей популярностью как у древних знахарей, так и в современных практиках народной и официальной медицины, фармакопеи и косметологии при разработке лекарственных препаратов пользовались и пользуются жиры диких животных, например, барсучий, медвежий, бобровый, целенаправленная

эффективность действия которых считается более высокой, чем у жиров животных, выросших в неволе. Следует отметить, что чаще натуральные животные жиры используются не индивидуально, а в виде купажей (смесей), повышающих целебные свойства препаратов и расширяющих сферу их применения¹ [4–7].

Сегодня нет сомнений в том, что все лекарственные средства на основе жиров животного происхождения являются большой ценностью для медицины. Роль жиров в медицине определяется их участием в пластических процессах, биологической ценностью, наличием в них жирорастворимых витаминов (A, D, E) и жирных полиненасыщенных кислот. Современные медицинские препараты, созданные на основе сырья животного происхождения (например, гормональные, ферментные и другие), влияют на организм мягче, чем синтетические, лучше переносятся, значительно реже вызывают побочные аллергические реакции. Интерес к животным жирам, возросший в последние годы, связан не только с этим неоспоримым обстоятельством, но и обусловлен эволюционной неизбежностью присутствия липидов во всех анатомических частях всех живых организмов, созданных природой, – человека, животных, растений, микроорганизмов [8–12].

¹ Краснюк И.И., Михайлова Г.В., Чижова Е.Т. Лечебно-косметические средства: учеб. пособие для студентов вузов. М.: ИЦ «Академия», 2006. 240 с.

Однако, несмотря на современное развитие инструментальных методов исследования и достаточно широкое применение жиров и жироподобных веществ в современной медицинской, фармакопейной и косметологической практике, в познании их свойств остается еще много неизвестного.

Целью данной работы явилось исследование методом рефрактометрии [13, 14] оптических свойств расширенной серии индивидуальных животных жиров разной природы и модельных купажей в зависимости от соотношения жировых компонентов, а также их изменение в циклах последовательных процессов нагревания и охлаждения. Актуальность направления исследований обусловлена отсутствием каких-либо данных по оптическим свойствам купажированных систем животных жиров. Величина рефрактометрического показателя преломления является критерием качества жиров и масел, в состав которых входит определенный набор жирных кислот, каждая из которых имеет характерный только для нее показатель преломления. Незначительное отклонение в сторону увеличения содержания непредельных или предельных жирных кислот приводит, как показано в работе [15], соответственно, к его росту или падению. Метод рефрактометрии является одним из ведущих инструментальных методов в масложировой промышленности и отличным инструментом в исследовании структурных превращений органических веществ и материалов биологического происхождения [16–18], что и предопределило его выбор.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Объектами исследования являлись экспериментальные и промышленные топленые природные животные жиры (жиры домашних и диких животных, птицы, пресноводных и морских рыб) разных производителей и выборка промышленных растительных масел из четырех групп, классифицированных по йодному числу (табл. 1), характеризующему степень их ненасыщенности (число кратных связей) [8, 19], а также двухкомпонентные модельные купажи свиного и говяжьего жиров в зависимости от соотношения ингредиентов. Купажированные системы выдерживались на водяной бане (90 °C) в течение часа и охлаждались при комнатной температуре. Экспериментальные образцы жиров получали вытапливанием при 40–50 °C, отбирали небольшими порциями и охлаждали при 4 и 20 °C в зависимости от решаемой задачи. Рефрактометрические показатели йодного числа (ИЧ) при 40 °C и температурные зависимости для показателя преломления (n_D) индивидуальных липидов и их купажей в интервале 20–70 °C были измерены на цифровом рефрактометре Abbatemat WR/MW (Anton Paar, Австрия) при длинах волн 436,4; 589,3 и

657,2 нм («Центр диагностики функциональных материалов для медицины, фармакологии и нанoeлектроники», Научный парк, СПбГУ).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

По химическому составу все липиды представляют собой смеси сложных структурных комплексов триглицеридов, основными элементами которых являются общая для всех молекула глицерина (трехатомного спирта) и три остатка жирных карбоновых кислот [8, 19]. Именно состав и строение жирных кислот в триглицеридах предопределяют структуру, свойства, пищевую и биологическую ценность, химические, оптические свойства и консистенцию липидов, полученных как из растительного, так и животного сырья. Химический состав триглицеридов предопределяет и температуру плавления животных жиров. Она снижается с увеличением числа радикалов непредельных и низкомолекулярных жирных кислот, а также степени непредельности жирнокислотных радикалов в составе триглицеридов. Температура плавления жиров разных типов и видов животных может колебаться в довольно широких пределах и составлять, например, 23 °C – для куриного, 55 °C – для бараньего жира, и заметно различается у разных авторов для жиров одного вида животных.

Для сравнения, большинство жидких растительных масел застывают ниже 0 °C (оливковое – от -2 до -6 °C, подсолнечное – от -16 до -21 °C). Чем больше ненасыщенных жирных кислот содержится в триглицеридах жира, тем ниже температура его плавления и выше показатели преломления и ИЧ. Поэтому жир, в составе которого преобладают насыщенные жирные кислоты (стеариновая, пальмитиновая и др.), представляет собой твердое вещество, тогда как растительные масла, в триглицеридах которых больше моно- и полиненасыщенных жирных кислот, при комнатной температуре имеют жидкую консистенцию. Однако следует отметить, что жирнокислотный состав липидов животных одного вида в значительной мере связан с их возрастом, полом, средой обитания, а также климатическими условиями, кормовой базой, сезоном убоя или улова и пр., что обуславливает значительное расхождение в оптических показателях.

Рефрактометрические показатели индивидуальных объектов исследования, полученные при 40 °C и $\lambda = 589,3$ нм, представлены в табл. 1. Жиры сгруппированы с учетом среды обитания животных (суша, водные бассейны), по принадлежности к домашнему содержанию или проживанию в естественных природных условиях, поскольку все отмеченные факторы существенным образом отражаются на жирнокислотном составе липидов, их консистенции, температурах плавления и замерзания.

Таблица 1

**Рефрактометрический анализа серии топленых животных жиров
и растительных масел разной природы**

Table 1

Refractometric analysis of melted animal fats and vegetable oils of different nature

Образец жира, производитель	n_D	ИЧ	Образец жира, производитель	n_D	ИЧ
Жир домашних животных			Жир домашней птицы		
Бараний, эксперимент	1,4583	55,6	Гусиный, г. С.-Петербург, «МЖК № 1»	1,4600	64,7
Говяжий, г. С.-Петербург, «МЖК № 1»	1,4587	60,0	Утиный, г. С.-Петербург, «МЖК № 1»	1,4618	75,1
Свиной, эксперимент	1,4604	66,5	Индеек, эксперимент	1,4638	86,8
Конский, г. С.-Петербург, «МЖК № 1»	1,4606	67,8	Куриный, эксперимент	1,4640	88,1
Собачий, г. С.-Петербург, «МЖК № 1»	1,4610	70,1	Жир рыб и морских млекопитающих		
Жир диких животных			Карпа, эксперимент	1,4612	72,0
Медвежий, г. С.-Петербург, «МЖК № 1»	1,4607	68,8	Леща, эксперимент	1,4644	90,6
Норковый, г. С.-Петербург, «МЖК № 1»	1,4625	78,9	Тюленя, Сахалин, «Ирбис-Импекс»	1,4658	98,4
Сурковый, г. С.-Петербург, «МЖК № 1»	1,4645	90,8	Зубатки, эксперимент	1,4694	119,6
Барсучий, г. С.-Петербург, «МЖК № 1»	1,4650	93,5	Сёмги, эксперимент	1,4706	127,0
Бобрый, г. С.-Петербург, «МЖК № 1»	1,4659	99,0	«Омега-3», аптечный препарат	1,4763	162,0
Растительные масла					
Кокосовое, Малайзия	1,4498	9,9	Подсолнечное, «Дары Кубани»	1,4681	112,1
Бабассу, Италия	1,4508	15,3	Кедровое, г. Барнаул, «Ореховый Алтай»	1,4693	119,8
Оливковое, Италия	1,4620	76,7	Льняное, г. Новосибирск, «Компас здоровья»	1,4756	157,2

Выборка растительных масел представляет каждую из четырех групп, классифицированных по типу доминирующей в их составе жирной кислоты и степени ее непредельности: оливковое масло – группа I (олеиновая кислота, одна двойная связь); подсолнечное и кедровое масла – группа II (линолевая кислота, две двойных связи); льняное масло – группа III (линоленовая кислота, три двойных связи); бабассу и кокосовое масло – группа IV (пальмитиновая кислота, без двойных связей). Полученные данные для исследуемых образцов масел показывают увеличение обоих оптических показателей с увеличением степени их ненасыщенности при переходе от четвертой группы твердых масел (баттеры) к жидким маслам I–III групп. Для рассмотренных видов жиров такой четкой градации не наблюдается.

Однако графическая обработка всей совокупности полученных данных (рис. 1), позволяющая представить липиды растительного и животного происхождения общей зависимостью в единой шкале измерений показателей преломления и йодного числа,

позволила отметить:

– все рассматриваемые жиры наземных животных, птицы и пресноводных рыб располагаются в ее центральной области ниже показателей подсолнечного масла, принадлежащего к группе линолевой кислоты (ИЧ = 12,1), а концевые части данной зависимости представлены баттером бабассу – твердым растительным маслом (гр. IV, ИЧ = 15,3) и жидким льняным маслом, лидирующим по содержанию линоленовой кислоты (гр. III, ИЧ = 157,2);

– показатели всех твердых жиров наземных домашних животных, в составе которых преобладают (40–60 %) насыщенные пальмитиновая и стеариновая кислоты (группа IV), расположены ниже показателей оливкового масла, являющегося лидером по содержанию олеиновой кислоты – до 83 %. В подавляющем большинстве жиры диких наземных животных располагаются выше, между показателями оливкового и подсолнечного масел, что говорит об увеличении в их составе содержания линолевой кислоты (группа II, две двойных связи);

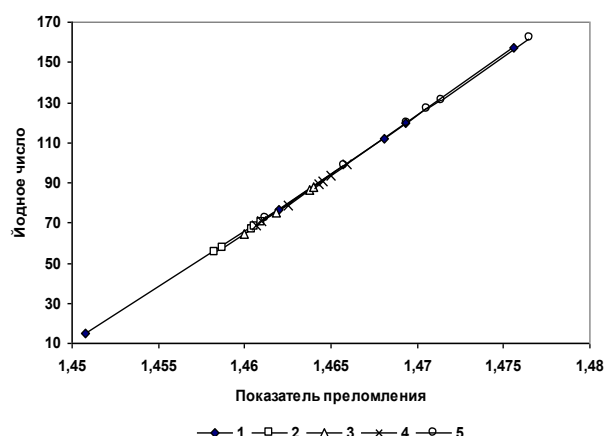


Рис. 1. Рефрактометрический анализ топленых животных жиров и растительных масел:
1 – растительные масла; жиры;
2 – домашних животных; 3 – птицы;
4 – диких животных; 5 – рыб и морских млекопитающих

Fig. 1. Refractometric analysis of melted animal fats and vegetable oils:
1 – vegetable oils; fats;
2 – domestic animals; 3 – poultry;
4 – wild animals;
5 – fish and marine mammals

– состав жиров домашней птицы заметно отличается от жиров наземных позвоночных – пальмитиновой и стеариновой кислот в них сравнительно мало (10–15 %), а в качестве главных компонентов триглицеридов выступают ненасыщенные олеиновая (40–45 %) и линолевая (10–20 %) кислоты, предопределя-

ющая мажущую консистенцию их жира и низкую температуру плавления;

– в жидких жирах пресноводных рыб концентрация мононенасыщенной олеиновой кислоты достигает максимума – 60 %, содержание насыщенных кислот не превышает 25–30 %, полиненасыщенных – 10 %, что приближает их к жиру птицы. Жиры рыб пресноводных и морских водоемов существенно различаются по составу жирных кислот [20–22];

– наиболее важной отличительной особенностью жиров морских рыб, показатели которых расположены между показателями масел второй группы и льняным маслом, является преобладание в них особых высоко-непредельных жирных кислот (до 84) с пятью и шестью двойными связями (эйкозапентаеновой и декозагексаеновой), которые отсутствуют в жирах наземных животных и растительных маслах. За пределы зависимости, определяемой растительными маслами, выходит только медицинский жир "Омега-3", получаемый из ткани лососевых пород рыб (ИЧ = 162).

Линейный характер общей экспериментальной зависимости $ИЧ = f(n_D)$ для липидов растительного и животного происхождения отражает их переход от твердого состояния к жидкому с ростом йодного числа и показателя преломления. Это послужило основанием сравнительного рассмотрения температурных кривых для выборки липидов из обеих групп в зависимости от консистенции.

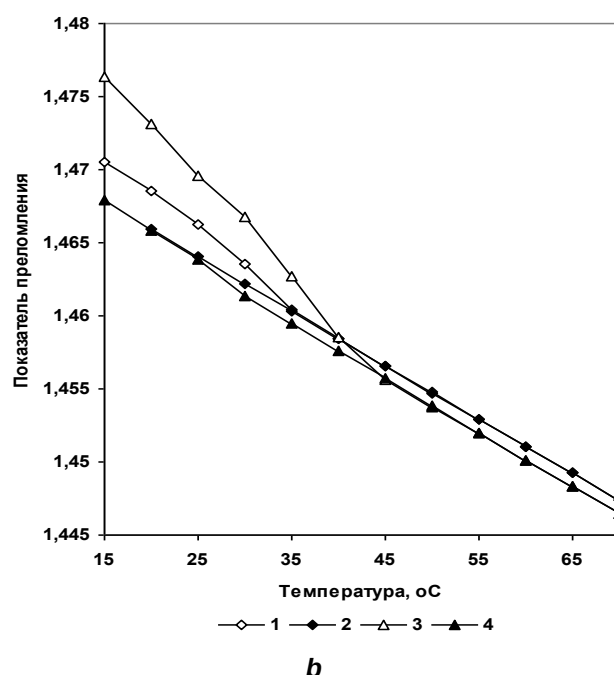
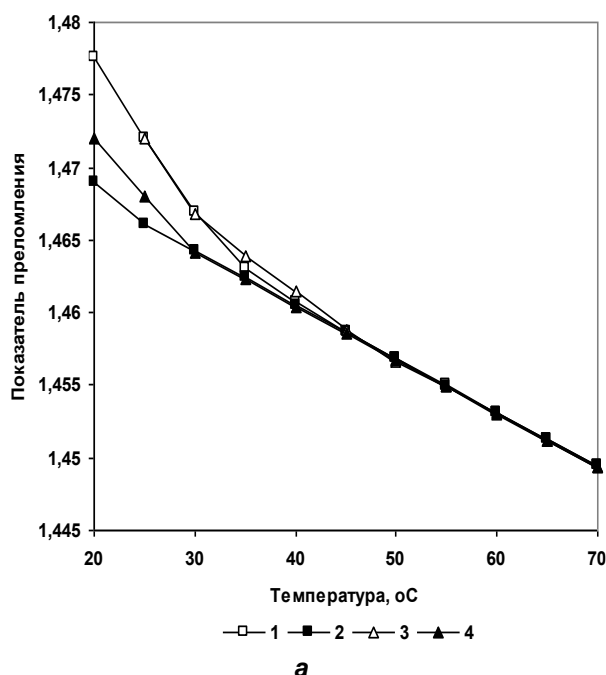


Рис. 2. Температурные зависимости $n_D = f(T, ^\circ C)$ плавления–охлаждения животных жиров:
а – свиной – 1, 2; собачий – 3, 4; б – бараний – 1, 2; говяжий – 3, 4; плавление – 1, 3; охлаждение – 2, 4

Fig. 2. Temperature dependences $n_D = f(T, ^\circ C)$ of animal fats melting and cooling:
а – pork – 1, 2; dog – 3, 4; б – lamb – 1, 2; beef – 3, 4; melting – 1, 3; cooling – 2, 4

На рис. 2, а приведена зависимость $n_D = f(T, ^\circ\text{C})$, характеризующая изменение показателя преломления в процессе одного цикла плавление–охлаждение в диапазоне 20–70 °C с шагом 2,5–5,0 °C для мягких свиного и собачьего жиров, которые достаточно близки по йодному числу (66,5 и 70,1 соответственно). Их вогнутые траектории кривых плавления практически совпадают на начальном и конечном участках, но несколько различаются, имея прогиб разной величины в области 30–45 °C. Причем кривая жира собаки в данном температурном диапазоне проходит выше. Кривые охлаждения обоих жиров совпадают и расходятся только при температурах ниже 30 °C. В данном случае кривая жира собаки проходит выше, то есть Δn_D , представляющее разницу показателей преломления при 20 °C исходного и охлажденного после плавления жира собаки, заметно больше, что может говорить о большем структурном различии жиров после процедуры плавления. Аналогичные зависимости для образцов липидов в циклах плавление–охлаждение были получены в работе [16].

С увеличением твердости бараньего и говяжьего жиров (рис. 2, б), существенных различий их температурных зависимостей наблюдается больше. Во-первых, кривые плавления не совпадают во всем диапазоне температур, а траектории их начальных участков в разной степени выпуклы, но на обеих кривых присутствует слабо выраженный перелом в области 30 °C. Для кривой плавления бараньего жира второй перегиб отмечен при 35 °C, а для говяжьего – при 45 °C. При этом более высокотемпературный линейный участок кривой говяжьего жира опускается ниже данного участка на кривой бараньего жира, что указывает на структурные различия их жидко-кристаллических форм. Этот экспериментальный факт объясняется, возможно, тем, что данный образец бараньего жира получен выплавкой из салника молодого животного. Во-вторых, кривые охлаждения обоих жиров идут параллельно, а при температуре 30 °C и ниже сливаются. При получении кривых плавления $n_D = f(T, ^\circ\text{C})$ для твердых животных жиров, в отличие от жидких и растительных масел, отмечена нестабильность показаний n_D в интервале температур 20–30 °C.

С целью исследования влияния на параметры показателя преломления рабочей длины волны на примере жира собаки получены температурные зависимости при трех длинах волн в диапазоне 20–70 °C (рис. 3). Отмечено, что с увеличением длины волны значения показателя преломления жира падают. Однако на всех кривых нагревания и охлаждения четко проявляется перегиб при 30 °C, менее выраженный

излом в области 45 °C фиксируется на всех кривых нагревания. При дальнейшем повышении температуры все зависимости имели линейный характер и располагались параллельно относительно друг друга. Можно отметить, что с увеличением длины волны от 436,4 до 589,3 нм увеличивается разность Δn_D при 25 °C и площадь гистерезиса.

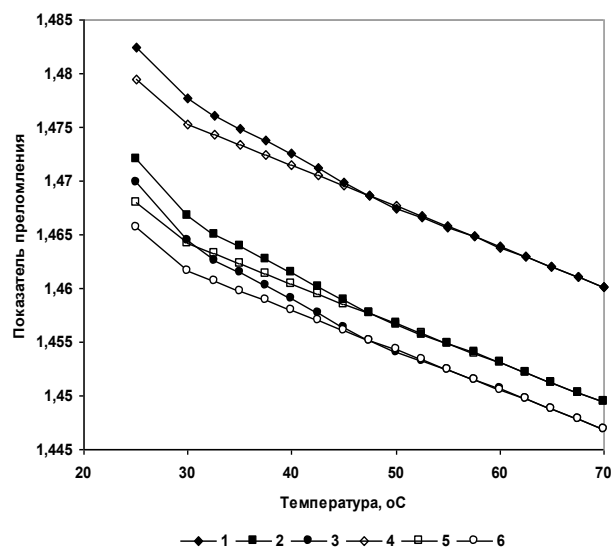


Рис. 3. Температурные зависимости $n_D = f(T, ^\circ\text{C})$ плавления и охлаждения жира собаки при длинах волн, нм: 1, 4 – 1436,4 нм; 2, 5 – 589,3 нм; 3, 6 – 657,2 нм; плавление – 1, 2, 3; охлаждение – 4, 5, 6

Fig. 3. Temperature dependences $n_D = f(T, ^\circ\text{C})$ of dog fat melting and cooling at three wavelengths, nm: 1, 4 – 1436,4 nm; 2, 5 – 589,3 nm; 3, 6 – 657,2 nm; melting – 1, 2, 3; cooling – 4, 5, 6

Анализируя полученные данные и опираясь на литературные [23], следует отметить, что, находясь в твердом состоянии, животные жиры являются кристаллическими веществами, способными, в зависимости от условий застывания, к полиморфным превращениям. Для твердых жиров характерно образование трех полиморфных модификаций: стекловидной (γ) и двух кристаллических (α и β_1), каждая из которых имеет свою структуру и температуру плавления. Литературные данные по определению температуры плавления полиморфных модификаций животных жиров дилактометрическим методом, приведенные в табл. 2, показывают, что на рассмотренных выше экспериментальных зависимостях плавления животных жиров в области 30 и 40 °C проявляются их α и β_1 полиморфные формы. Выпуклый характер начальных участков кривых тугоплавких жиров баранины и говядины объясняется тем, что при быстром плавлении α -модификация не успевает перекристаллизоваться в β_1 -форму, что приводит к повышению температуры плавления и показателя преломления.

Таблица 2
Температура плавления
полиморфных модификаций животных
жиров [23]

Table 2
Melting point of polymorphic modifications
of animal fats [23]

Модификация жира	Температура плавления, °С	
	Говяжий жир	Бараний жир
γ	12	13
α	31,5–35,6	34
β_1	42–45	45–46,5

В зависимости от условий охлаждения жира могут в разных количествах образовываться его кристаллические формы с разными температурами плавления. В силу полиморфизма в момент плавления жиры обычно находятся в высокоплавкой β_1 -кристаллической модификации, а при быстром охлаждении образуются в основном низкоплавкая α - и частично γ -модификации. Со временем, после застывания жира, обе модификации независимо друг от друга спонтанно переходят в более стабильную β_1 -форму, и температура его плавления повышается. На участках линейности при температурах выше 40–45 °С расплавленные жиры являются структурно однородными системами, для которых нагревание и охлаждение – обратимый равновесный процесс. Отклонение от линейности

на кривых охлаждения при 30 °С указывает на формирование низкотемпературной α -модификации. Картина совершенно меняется с переходом к мажеобразным и жидким жирам.

На рис. 4, а приведена температурная зависимость показателя преломления для мажеобразных животных жиров – бобра (ИЧ = 99,0) и индейки (ИЧ = 88,1), которые показывают небольшое расхождение для этих противоположных процессов с отклонением от линейности при охлаждении ниже 25 °С, и которое, однако, для жира индейки несколько больше. Это говорит о начале формирования α -модификации для них при более низкой температуре.

Рис. 4, б иллюстрирует аналогичную зависимость для жидких липидов – жира сёмги, оливкового и льняного масел. Исходя из их полного совпадения для всех трех образцов можно сказать, что жидкие масла и жиры при прохождении процессов нагревание–охлаждение в рассматриваемом диапазоне температур не испытывают заметных структурных изменений и по сути своей аналогичны линейным участкам на кривых для твердых жиров выше плавления высокотемпературной β_1 -модификации – 40–45 °С. Температуры застывания жидких масел лежат ниже 0 °С и в рассматриваемом температурном интервале фиксироваться не могут. Зависимости для жира сёмги располагаются между зависимостями, полученными для образцов исследуемых растительных масел.

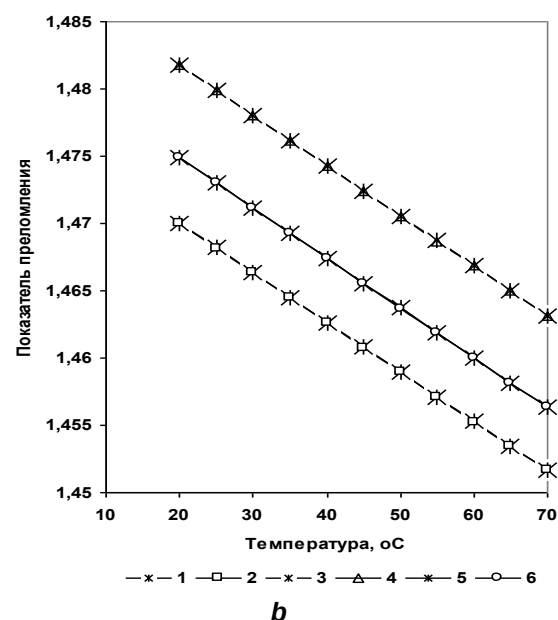
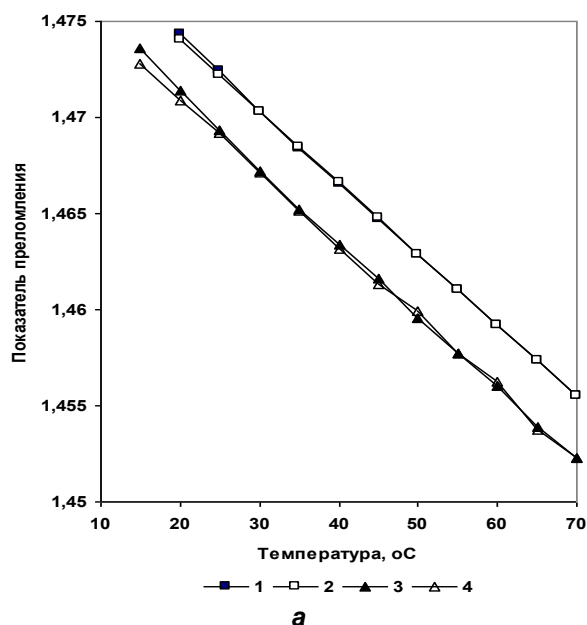


Рис. 4. Температурные зависимости нагревания и охлаждения липидов:
а – жиры: бобра – 1, 2; индейки – 3, 4; плавление – 1, 3; охлаждение – 2, 4;
б: оливковое масло – 1, 2; льняное масло – 3, 4; жир сёмги – 5, 6;
нагревание – 1, 2, 3; охлаждение – 4, 5, 6

Fig. 4. Temperature dependences of lipids heating and cooling: а – fats: beaver – 1, 2;
turkeys – 3, 4; melting – 1, 3; cooling – 2, 4; б: olive oil – 1, 2; linseed oil – 3, 4;
salmon fat – 5, 6; heating – 1, 2, 3; cooling – 4, 5, 6

На рис. 5 представлены данные для двух последовательных циклов плавление–охлаждение двух твердых липидов – животного (свиной жир) и растительного (бабассу). В обоих случаях зависимости процессов плавления–охлаждения второго цикла совпадают с зависимостью охлаждения первого цикла. В отличие от бабассу у свиного жира отмечены два перелома на кривой плавления первого цикла в области 30 и 45 °С. На остальных зависимостях с ростом значений показателя преломления при снижении температуры наблюдается перегиб при 25 °С, что говорит о снижении температуры плавления полиморфной α -модификации данного образца свиного жира.

Твердое масло бабассу (рис. 5, *b*) на кривой плавления первого цикла показало эффект, аналогичный твердым животным жирам – перелом при 30 °С с последующим линейным снижением показателя преломления при повышении температуры. В процессе охлаждения в первом цикле во всем температурном интервале наблюдалась линейная зависимость $n_D = f(T, ^\circ\text{C})$. Обе зависимости плавления и охлаждения повторного цикла и охлаждения в первом цикле совпали и носили линейный характер в отличие от свиного жира. Следует отметить, что при комнатной температуре бабассу имеет мягкую консистенцию.

На рис. 6, *a* приведены зависимости ИЧ $= f(\text{состав, \%})$ модельных двухкомпонентных смесей жира свинины с твердыми жирами других животных (бараний, говяжий, бобровый, куриный, жир карпа) и твердым маслом бабассу при вариации состава от 0 до 100 %. Обращает на себя внимание то, что практически во всех случаях наблюдались линейные участки на зависимостях (центральная часть) и их перегиб при переходе к индивидуальным жирам, что

может указывать на изменение структурных особенностей триглицеридов индивидуальных компонентов в составе купажируемых систем. Это наиболее заметно на кривых, полученных при купажировании говяжьего и свиного жиров (кривая 6), и практически незаметно при смешивании свиного жира с жиром карпа (кривая 1).

На рис. 6, *b* представлены рефрактометрические данные по влиянию температуры купажируемого (20 и 90 °С) жира сёмги с жирными растительными маслами и жиром пресноводного карпа. Относительное направление зависимостей определяется так же, как и для купажей свиного жира – соотношением йодных чисел ингредиентов. Но для купажей жира сёмги и растительных масел трех групп практически все зависимости носили выраженный линейный характер. Однако повышение температурного режима купажирования приводило к увеличению ИЧ как купажей, так и исходного рыбного жира. Данный экспериментальный факт можно объяснить возможностью увеличения длины углеродной цепочки (элонгация) и образованием новых двойных связей (ферментативная десатурация), известными из литературных данных о жирах морских рыб [24]. Оба процесса являются термозависимыми: образование определенного количества новых двойных связей в жирных кислотах снижает температуру перехода жира из фазы геля (твердая фаза) в жидко-кристаллическую. Ферментативные реакции десатурации естественно закономерны и свойственны как организму животных и человека, так и микроорганизмам и растениям, но протекают они по разным механизмам, которые обусловлены генотипом живого организма.

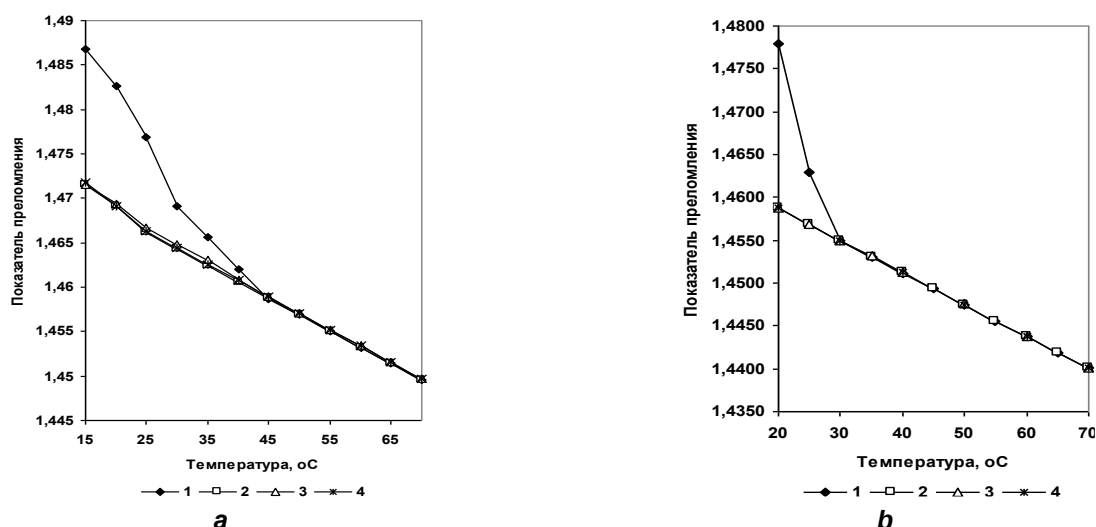


Рис. 5. Температурные зависимости $n_D = f(T, ^\circ\text{C})$ двух циклов плавление–охлаждение твердых свиного жира (а) и растительного масла бабассу (b); нагревание – 1, 3; охлаждение – 2, 4

Fig. 5. Temperature dependences $n_D = f(T, ^\circ\text{C})$ of two melting-cooling cycles of pork fat (a) and babassu vegetable oil (b); heating – 1, 3; cooling – 2, 4

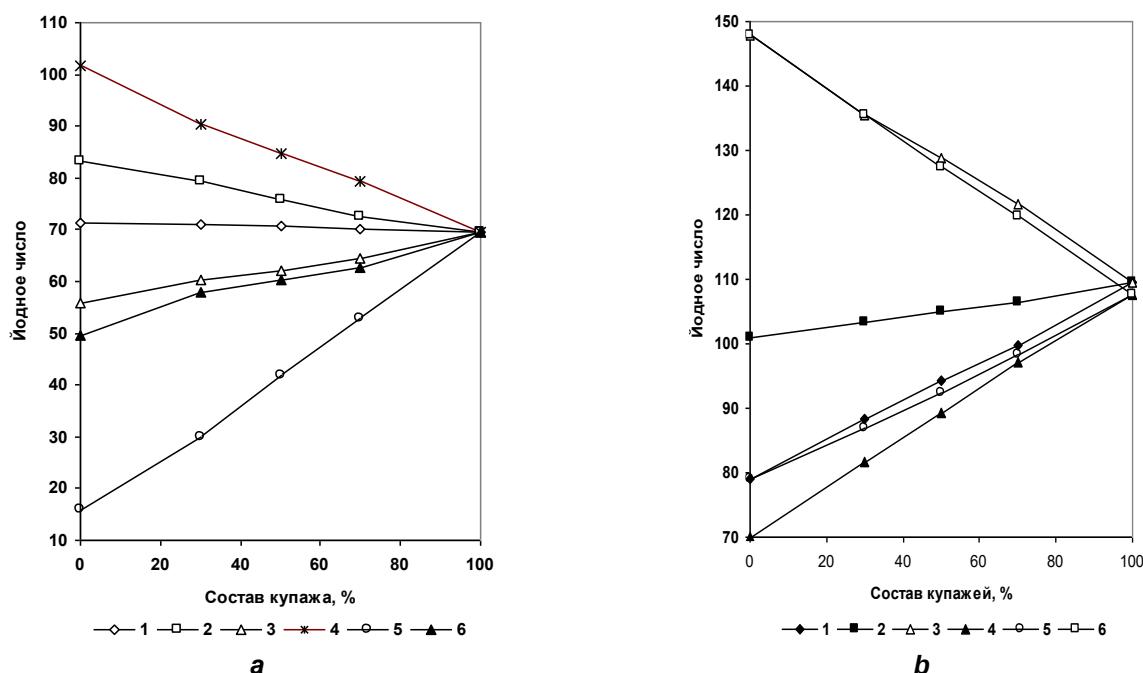


Рис. 6. Рефрактометрия двухкомпонентных купажей: а – свиной жир + жир: 1 – карпа, 2 – куриный, 3 – бараний, 4 – бобра, 5 – бабассу, 6 – говяжий; б – жир сёмги с растительными маслами: 1 – оливковое, 2 – подсолнечное, 3 – льняное, 4 – жир карпа (90 °С); 5 – оливковое, 6 – льняное (20 °С)

Fig. 6. Refractometry of two-component blends: а – pork fat + fat: 1 – carp, 2 – chicken, 3 – mutton, 4 – beaver, 5 – babassu, 6 – beef; б – giraffe salmon with vegetable oils: 1 – olive, 2 – sunflower, 3 – flaxseed, 4 – carp fat (90 °С); 5 – olive oil, 6 – flaxseed oil (20 °С)

Генотип предопределяет наличие соответствующих специфических ферментов жирных кислот – десатураз, катализирующих реакции превращения одинарных связей (C–C) в двойные (C=C), но на вполне определенных (для каждого типа организма) участках углеводных цепочек. Подобные защитные превращения диктуются физиологическими потребностями живого организма, а также целесообразностью блокирования какого-либо процесса или патологии в случае необходимости. Следует заметить, что десатурация в *цис*-положении более эффективна для изменения физических свойств липидов, чем десатурация в *транс*-положении, поскольку ненасыщенные жирные кислоты являются только *цис*-изомерами.

Ввиду того что в экспериментальном интервале температур 40–70 °С отмечена обратимость процессов плавления и охлаждения, представилось целесообразным затормозить развитие процессов, имеющих место при медленном охлаждении, и по возможности стабилизировать состояние системы, находящейся в жидко-кристаллической фазе, применив быстрое охлаждение. Возможность наблюдения «фиксированных» результатов процесса десатурации иллюстрирует рис. 7, а, на котором представлены данные для свиного жира, расплавленного при трех температурах – 40, 70, 90 °С, и быстро

охлажденного при 4 °С (кривая 1). Йодное число измерялось при 40 °С и длине волны 589,3 нм. По сравнению с исходным образцом все три образца после плавления и быстрого охлаждения имели более высокие и достаточно близкие значения показателя ИЧ. Повторный цикл плавления–охлаждения (кривая 2) подтвердил результаты первого цикла. Близость данных, полученных в обоих циклах, скорее всего говорит о том, что ферменты-десатуразы, имея белковую природу, утрачивают активность при температурах выше 40–50 °С.

Температурная зависимость (рис. 7, б) одного цикла плавление–охлаждение, снятая для исходного образца свиного жира (кривые 1, 2) и расплавленного при 40 °С, а затем быстро охлажденного (кривые 3, 4), подтвердили отмеченный выше факт. Если кривые охлаждения для обоих образцов практически совпадают, то начальный участок кривой плавления для образца, нагретого при 40 °С, расположен существенно выше и второй перегиб наблюдается при 45 °С.

Использование метода рефрактометрии при исследовании температурных зависимостей изменения показателя преломления для ряда животных жиров позволило отметить, что фазовые переходы, сопровождаемые процессами десатурации жирных кислот, наблюдаются в интервале 30–45 °С.

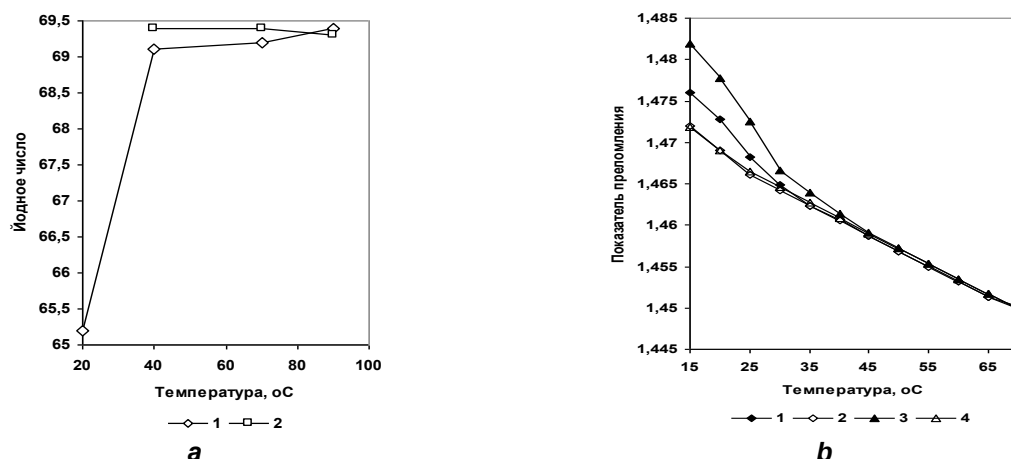


Рис. 7. а – зависимость ИЧ = $f(T, ^\circ\text{C})$ для свиного жира: 1 – расплавленного при 40, 70, 90 $^\circ\text{C}$ и быстро охлажденного при 4 $^\circ\text{C}$; 2 – повторный цикл; б – зависимость $n_D = f(T, ^\circ\text{C})$ для исходного свиного жира (1, 2), расплавленного при 40 $^\circ\text{C}$ и быстро охлажденного (3,4); плавление – 1, 3; охлаждение – 2, 4

Fig. 7. А – dependence and $n_D = f(T, ^\circ\text{C})$ for pork fat: 1 – melted at 40, 70, 90 $^\circ\text{C}$ and rapidly cooled at 4 $^\circ\text{C}$; 2 – repeated cycle; б – dependence $n_D = f(T, ^\circ\text{C})$ for the original pork fat (1, 2), melted at 40 $^\circ\text{C}$ and rapidly cooled (3,4); melting – 1, 3; cooling – 2, 4

Данные, полученные за последние десятилетия в разных лабораториях мира при исследовании методами ЭПР, ЯМР, рентгеноструктурного анализа, дилатометрии, калориметрии, электрической проводимости, диэлектрической проницаемости и др. фазовых переходов липидов, синтетических и природных фосфолипидов, билипидных слоев биологических мембран, показали, что липидная часть во всех случаях в диапазоне 30–40 $^\circ\text{C}$ испытывает обратимый фазовый переход жидкокристаллическое–гель состояний [16, 25–27]. При этом точка фазового перехода смещается в область более высоких температур с увеличением длины углеродной цепочки, степени ненасыщенности жирных кислот и жирно-кислотного состава липидов.

Рис. 8, а иллюстрирует температурные

зависимости плавления купажей говяжьего и свиного жиров с их соотношением от 0 до 100 %, моделирующих вариацию жирно-кислотного состава в системе. В начале и в конце зависимостей для индивидуальных жиров кривая свиного жира лежит выше кривой говяжьего (кривые 1 и 5). В области 30 $^\circ\text{C}$ на обеих зависимостях наблюдаются прогибы в разном направлении, разной интенсивности и формы. Именно в интервале 30–40 $^\circ\text{C}$ на кривых всех купажей отмечен прогиб, который провоцирует говяжий жир, являясь более тугоплавким, и на этом отрезке кривые всех трех купажей практически совмещаются. При температурах выше 40 $^\circ\text{C}$ они расходятся и далее идут параллельно, располагаясь относительно друг друга в соответствии с увеличением доли свиного жира в купаже.

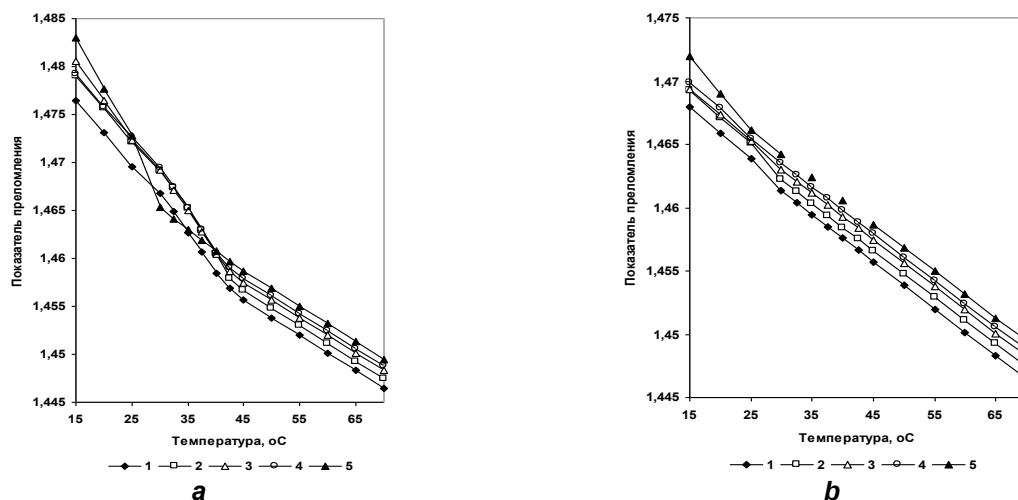


Рис. 8. Температурные зависимости $n_D = f(T, ^\circ\text{C})$ нагревания (а) и охлаждения (б) купажей говяжьего и свиного жиров: 1 – 0; 2 – 20; 3 – 50; 4 – 80; 5 – 100 % свиного жира

Fig. 8. Temperature dependences $n_D = f(T, ^\circ\text{C})$ of heating (а) and cooling (б) blends of beef and pork fat: 1 – 0; 2 – 20; 3 – 50; 4 – 80; 5 – 100 % pork fat

На низкотемпературном конце кривые расходятся, но под разным углом, что может быть связано с разницей в температурах затвердевания исходных компонентов и их соотношением в купаже (до 50 % свиного жира, кривые 2 и 3 очень близки).

При охлаждении (рис. 8, b) характер зависимостей для исходных жиров меняется, но направление изгибов сохраняется, они смещаются в область 25 °С. На кривых купажей индивидуальных перегибов нет, но есть общая точка их совмещения – 25 °С. Далее при понижении температуры они расходятся, хотя и не так существенно. Показатели преломления после охлаждения до 20 °С для всех кривых имеют существенно более низкие значения, чем для исходных образцов на кривых плавления. Полученные данные позволяют говорить о том, что при купажировании жиров с варьируемым составом компонентов меняется структура жидкокристаллической фазы, точка фазового перехода для α -модификации смещается в область более низких температур, а показатели преломления исследуемых купажированных систем в твердом состоянии (20 °С) заметно отличаются от показателей преломления исходных компонентов, занимая промежуточное положение как до плавления, так и после охлаждения.

ВЫВОДЫ

Исследования, проведенные методом рефрактометрии, показали:

– характер температурных зависимостей плавления животных жиров предопределяется

их консистенцией и йодным числом, в связи с чем на кривых $n_D = f(T, ^\circ\text{C})$ наблюдаются 1–2 изгиба, характеризующих точки плавления α и β_1 кристаллических полиморфных форм. Кривые охлаждения при температурах ниже точки плавления обычно проходят ниже кривых плавления и имеют один изгиб, отражающий точку замерзания низкотемпературной кристаллической α -модификации. Площадь гистерезиса, наблюдаемого в циклах плавления–охлаждения, определяется консистенцией жира, температурами его плавления и замерзания. Обе зависимости плавление–охлаждение при температурах выше точки плавления β_1 -формы имеют совпадающие линейные участки, отражая структурную однородность жидкокристаллической фазы и обратимость этих процессов в данном температурном интервале;

– купажирование приводит к снижению точки плавления полиморфной α -модификации по отношению к исходным компонентам, что говорит об их заметной структурной перестройке в составе смешанной системы. Кроме того, на оптические свойства животных жиров и их купажей существенное влияние оказывают не только природа и ингредиентный состав, но и скорость процесса охлаждения. Кратные связи в молекулах жирных кислот, возникшие при плавлении жира в результате процесса десатурации, не успевают вновь трансформироваться в одиночные при быстром охлаждении, обеспечивая системе более высокие показатели йодного числа, что заметно модифицирует структурные, оптические и биохимические свойства системы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Менье Л. История медицины: с приложением очерка истории русской медицины / пер. с фр. И.А. Оксёнова. М.-Л.: Госиздат, 1926. 322 с.
2. Мейер-Штейнг Т., Зудгоф К. История медицины / пер. со второго нем. изд. под ред. В.А. Любарского и Б.Е. Гершуни. М.: Гос. изд-во, 1925. 463 с.
3. Каракольский Е. Животные жиры в восточной медицине, косметологии [Электронный ресурс] // Золотой дракон. URL: <https://dragonshop.su/blog/zhivotnye-zhiry-v-vostochnoy-meditsine-kosmetologii/> (09.05.2018).
4. Коноплёва М.М. Лекарственное сырьё животного происхождения и природные продукты. Сообщение 4 // Вестник фармации. 2012. N 2 (56). С. 81–88.
5. Хамагаева И.С., Хребтовский А.М. Сравнительная оценка бифидогенных свойств жиров животного происхождения // Бюллетень Восточно-Сибирского научного центра СО РАМ. 2012. N 4 (86). С. 224–227.
6. Нечаев А.П. Ключевые тенденции в производстве масложировых продуктов // Продукты и прибыль. 2011. N 2. С. 6–9.
7. Нечаев А.П. Научные основы технологий получения функциональных жировых продуктов нового поколения // Масла и жиры. 2007. N 8 (78). С. 26–27.
8. О'Брайен Р. Жиры и масла. Производство, состав и свойства, применение / пер. с англ. 2-го изд. В.Д. Широкова и др. СПб.: Профессия, 2007. 752 с.
9. Левачев М.М. Жиры, полиненасыщенные жирные кислоты, фосфолипиды: биологическая роль и применение в профилактической и клинической медицине. В кн.: Введение в частную микронутриентологию. Новосибирск: Академиздат, 1999. С. 264–284.
10. Нетребенко О.К., Щеплягина Л.А. Иммунонутриенты в питании детей // Педиатрия. Журнал им. Г.Н. Сперанского. 2006. Т. 85. N 2. С. 61–66.
11. Гайковая Л.Б. Омега-3 полиненасыщенные жирные кислоты: лабораторные методы в оценке их многофакторного действия // Обзоры по клинической фармакологии и лекарственной терапии. 2010. Т. 8. N 4. С. 3–14.
12. Запорожская Л.И., Гаммель И.В. Ха-

рактеристика и биологическая роль эссенциальных полиненасыщенных жирных кислот // Медицинский совет. 2012. N 12. С. 134–136.

13. Иоффе Б.В. Рефрактометрические методы химии; 3-е изд., перераб. Л.: Химия. 1983. 352 с.

14. Koohyar F. Refractive index and its applications // Journal of Thermodynamics & Catalysis. 2013. Vol. 4. Issue 2. P. 117–120. <https://doi.org/10.4172/2157-7544.1000e117>

15. Нечипоренко А.П., Везо О.С., Плотникова Л.В., Нечипоренко У.Ю., Мельникова М.И. Оптические свойства липидов животного происхождения // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и пищевые производства. 2018. Вып. 4 (38). С. 22–35. <https://doi.org/10.17586/2310-1164-2018-11-4-22-35>

16. Yanina I.Y., Lazareva E.N., Tuchin V.V. Refractive index of adipose tissue and lipid droplet measured in wide spectral and temperature ranges // Applied Optics. 2018. Vol. 57. Issue 17. P. 4839–4848. <https://doi.org/10.1364/AO.57.004839>

17. Yanina I.Y., Tuchin V.V., Navolokin N.A., Matveeva O.V., Bucharskaya A.B., Maslyakova G.N., et al. Fat tissue histological study at ICG-mediated photothermal/photodynamic treatment of the skin in vivo // Journal of Biomedical Optics. 2012. Vol. 17. Issue 5. P. 058002. <https://doi.org/10.1117/1.JBO.17.5.058002>

18. Lai J., Li Z., Wang C., He A. Experimental measurement of the refractive index of biological tissues by total internal reflectio // Applied Optics. 2005. Vol. 44. Issue 10. P. 1845–1849. <https://doi.org/10.1364/AO.44.001845>

[org/10.1364/AO.44.001845](https://doi.org/10.1364/AO.44.001845)

19. Верещагин А.Г. Структурный анализ природных триглицеридов // Успехи химии. 1971. Т. 40. Вып. 11. С. 1995–2028.

20. Ржавская Ф.М. Жиры рыб и морских млекопитающих. М.: Пищевая промышленность, 1976. 473 с.

21. Кузнецов Д.И. Жирнокислотный состав жира морских и пресноводных рыб, морских бес-позвоночных и млекопитающих // Вопросы питания. 1975. N 6. С. 62–70.

22. Абрамов Л.С. Пути рационального использования сырьевых ресурсов рыбного хозяйства страны // Пищевая промышленность. 2004. N 3. С. 6–10.

23. Соколов А.А. Физико-химические и биохимические основы технологии мясopодуктов. М.: Пищевая промышленность. 1965. 490 с.

24. Страйер Л. Биохимия: в 3 т.; пер. с англ. Р.Б. Капнера и А.М. Колчинского; под ред. С.Е. Северина. М.: Мир, 1985. Т. 2. 312 с.

25. Антонов В.Ф., Смирнова Е.Ю., Шевченко Е.В. Липидные мембраны при фазовых превращениях мембранных липидов. М.: Наука, 1992. 135 с.

26. Харакоз Д.П. О возможной физиологической роли фазового перехода «жидкое – твердое» в биологических мембранах // Успехи биологической химии. 2001. Т. 41. С. 333–364.

27. Архипова Г.В., Бурлакова Е.Б., Кондрашева Е.А., Мурза Л.И., Юшманов В.Е. Роль липидов биологических мембран в процессах записи и хранения информации // Биологические мембраны. 1994. Т. 11. N 4. С. 456–460.

REFERENCES

1. Men'e L. *The history of medicine: with the appendix of an essay on the history of Russian medicine*. Moscow-Leningrad: Gosizdat; 1926. 32 p. (In Russian)

2. Mejer-Shtejng T, Zudgof K. *History of Medicine*. Moscow: Gosizdat; 1925. 463 p. (In Russian)

3. Karakol'skii E. *Animal fats in oriental medicine, cosmetology*. Available from: <https://dragonshop.su/blog/zhivotnye-zhiry-v-vostochnoy-medsine-kosmetologii/> [Accessed 09th May 2018]. (In Russian)

4. Konoplyova MM. Medicinal raw materials of animal origin and natural products. Report 4. *Vestnik farmatsii*. 2012;2:81–88. (In Russian)

5. Khamagaeva IS, Khrebtovskiy AM. Comparative assessment of animal fatsbifidogenic properties. *Byulleten' Vostochno-Sibirskogo nauchnogo tsentra SO RAM*. 2012;4:224–227. (In Russian)

6. Nechaev AP. Key trends in the production of oil and fat products. *Produkty i pribyl'*. 2011;2;6–9. (In Russian)

7. Nechaev AP. The scientific basis of the technology for obtaining functional fat products of

a new generation. *Masla i zhiry*. 2007;8:26–27. (In Russian)

8. O'Brajen R. *Fats and oils. Production, composition and properties, application*. St. Petersburg: Professiya; 2007. 752 p. (In Russian)

9. Levachev MM. Fats, polyunsaturated fatty acids, and phospholipids: The biological role and application in preventive and clinical medicine. In: *Introduction to Special Micronutrientology*, Novosibirsk: Akademizdat; 1999. P. 264–284. (In Russian)

10. Netrebenko OK, Shcheplyagina LA. Immunonutrients in children's nutrition. *Pediatrica. Zhurnal im. G.N. Speranskogo* = *Pediatrics*. Journal named after G.N. Speransky. 2006;85(2):61–66. (In Russian)

11. Gaikovaya LB. Omega-3 polyunsaturated fatty acids: laboratory methods for evaluating their multifactorial effect. *Obzory po klinicheskoi farmakologii i lekarstvennoi terapii* = *Reviews on Clinical Pharmacology and Drug Therapy*. 2010; 8(4):3–14. (In Russian)

12. Zaporozhskaya LI, Gammel' IV. Characterization and biological role of essential polyunsaturated fatty acids. *Medsinskii sovet* = *Medical*

council. 2012;12:134–136. (In Russian)

13. Ioffe BV. *Refractometry in Chemistry*. Leningrad: Khimiya; 1983. 352 p. (In Russian)

14. Koohyar F. Refractive index and its applications. *Journal of Thermodynamics and Catalysis*. 2013;4(2):117–120. <https://doi.org/10.4172/2157-7544.1000e117>

15. Nechiporenko AP, Veso OS, Plotnikova LV, Nechiporenko UYu, Melnikova MI. Optical properties of lipids of animal origin. *Nauchnyi zhurnal NIU ITMO. Seriya: Processy i apparaty pishchevykh proizvodstv* = Scientific journal NRU ITMO. Series Processes and Food Production Equipment. 2018;4: 22–35. (In Russian) <https://doi.org/10.17586/2310-1164-2018-11-4-22-35>

16. Yanina IY, Lazareva EN, Tuchin VV. Refractive index of adipose tissue and lipid droplet measured in wide spectral and temperature ranges. *Applied Optics*. 2018;57(17):4839–4848. <https://doi.org/10.1364/AO.57.004839>

17. Yanina IY, Tuchin VV, Navolokin NA, Matveeva OV, Bucharaskaya AB, Maslyakova GN, et al. Fat tissue histological study at ICG-mediated photothermal/photodynamic treatment of the skin in vivo. *Journal of Biomedical Optics*. 2012;17(5): 058002. <https://doi.org/10.1117/1.JBO.17.5.058002>

18. Lai J, Li Z, Wang C, He A. Experimental measurement of the refractive index of biological tissues by total internal reflection. *Applied Optics*. 2005;44(10):1845–1849. <https://doi.org/10.1364/AO.44.001845>

19. Vereshchagin AG. Structural Analysis of Natural Triglycerides. *Uspekhi khimii* = Russian Chemical Review. 1971;40(11):933–952. (In Russian)

20. Rzhavskaya FM. *Fats of fish and marine mammals*. Moscow: Pishchevaya promyshlennost'; 1976. 473 p. (In Russian)

21. Kuznetsov DI. The fatty acid composition of the fat of marine and freshwater fish, marine invertebrates and mammals. *Voprosy pitaniya* = Problems of Nutrition. 1975;6:62–70. (In Russian)

22. Abramov LS. Ways of rational use of raw materials of the country's fisheries. *Pishchevaya promyshlennost'* = Food Industry. 2004;3:6–10. (In Russian)

23. Sokolov AA. *Physico-chemical and biochemical fundamentals of meat technology*. Moscow: *Pishchevaya promyshlennost'*; 1965. 490 p. (In Russian)

24. Stryer L. *Biochemistry*. 2nd ed. Stanford University. San Francisco: W.H. Freeman and Company (Russ. ed.: Strayer L. *Biokhimiya*. Moscow: Mir; 1985. Vol. 2. 312 p.)

25. Antonov VF, Smirnova EYu, Shevchenko EV. *Lipid membranes during phase transformations of membrane lipids*. Moscow: Nauka; 1992. 135 p. (In Russian)

26. Harakoz DP. On the possible physiological role of the liquid – solid phase transition in biological membranes. *Uspekhi biologicheskoi himii*. 2001;41:333–364. (In Russian)

27. Arkhipova GV, Burlakova EB, Kondrasheva EA, Murza LI, Yushmanov VE. The role of lipids of biological membranes in the processes of recording and storing information. *Biologicheskie membrany*. 1994;11(4):456–460. (In Russian)

Критерии авторства

Везо О.С., Нечипоренко А.П., Плотникова Л.В., Нечипоренко У.Ю. выполнили экспериментальную работу, на основании полученных результатов провели обобщение и написали рукопись. Везо О.С., Нечипоренко А.П., Плотникова Л.В., Нечипоренко У.Ю. имеют на статью равные авторские права и несут равную ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Везо Ольга Сергеевна, инженер, Центр диагностики функциональных материалов для медицины, фармакологии и наноэлектроники, Научный парк, Санкт-Петербургский государственный университет, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7/9, Российская Федерация, ✉ e-mail: o.vezo@spbu.ru

Contribution

Olga S. Vezo, Alla P. Nechiporenko, Liudmila V. Plotnikova, Ulyana Yu. Nechiporenko carried out the experimental work, on the basis of the results summarized the material and wrote the manuscript. Vezo O.S., Alla P. Nechiporenko, Liudmila V. Plotnikova, Ulyana Yu. Nechiporenko have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article.

The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Olga S. Vezo, Engineer, Center for Diagnostics of Functional Materials for Medicine, Pharmacology and Nanoelectronics, Research park, St. Petersburg State University, 7/9 Universitetskaya Emb., St. Petersburg 199034, Russian Federation, ✉ e-mail: o.vezo@spbu.ru

Нечипоренко Алла Павловна,

д.х.н., профессор,
Национальный исследовательский универси-
тет информационных технологий, механики
и оптики,
197101, г. Санкт-Петербург,
Кронверкский пр-т, 49,
Российская Федерация,
e-mail: allanech2512@ yandex.ru

Плотникова Людмила Валерьевна,

старший научный сотрудник,
Санкт-Петербургский государственный
университет,
199034, г. Санкт-Петербург,
Университетская наб., 7/9.
Российская Федерация,
e-mail: ljusja@mail.ru

Нечипоренко Ульяна Юрьевна,

биохимик,
МК «Народная медицина»,
196236, г. Санкт-Петербург, ул. Белы Куна, 32,
Российская Федерация,
e-mail: unechiporenko@yandex.ru

Alla P. Nechiporenko,

Dr. Sci. (Chemistry),, Professor,
National Research University of Information
Technologies, Mechanics and Optics,
49 Kronverksky Ave.,
St. Petersburg 197101,
Russian Federation,
e-mail: allanech2512@ yandex.ru

Liudmila V. Plotnikova,

Senior Reseacker,
St. Petersburg State University,
7/9 Universitetskaya Emb.,
St. Petersburg 199034,
Russian Federation,
e-mail: ljusja@mail.ru

Ulyana Yu. Nechiporenko,

Biochemist
MK "Folk medicine",
32. Bela Kun St.,
St. Petersburg 196236,
Russian Federation,
e-mail: unechiporenko@yandex.ru