

УДК 664.34:637.144

А. Н. Никитенко<sup>1</sup>, Е. Д. Скаковский<sup>2</sup>, С. А. Ламоткин<sup>1</sup>,  
И. С. Сербин<sup>1</sup>, А. В. Стрибуть<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Белорусский государственный технологический университет

<sup>2</sup>Институт физико-органической химии Национальной академии наук Беларуси

### ИССЛЕДОВАНИЕ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЕЛ И ИХ КУПАЖЕЙ МЕТОДОМ ЯМР-СПЕКТРОСКОПИИ

Рассмотрен состав растительных масел с различным содержанием  $\omega$ -6 и  $\omega$ -3 жирных кислот (кукурузное, рыжиковое, льняное). Проведен расчет оптимального состава купажей для получения БАД. Изучен качественный и количественный состав полиненасыщенных жирных кислот индивидуальных масел и купажей методом ЯМР-спектроскопии и газожидкостной хроматографии. Показано, что использование данных методов позволяет значительно детализировать качественный и количественный анализ. Данными ЯМР-спектроскопии подтверждено оптимальное соотношение  $\omega$ -6 и  $\omega$ -3 полиненасыщенных жирных кислот в полученных купажах растительных масел. Разработанные кукурузно-льняной и кукурузно-рыжиковый купажи растительных масел содержат  $\omega$ -6 и  $\omega$ -3 полиненасыщенные жирные кислоты на уровне, соответствующем рекомендуемому для питания, и могут быть использованы для создания биологически активных добавок на основе растительных масел.

**Ключевые слова:** купаж, растительное масло, ЯМР-спектроскопия, газожидкостная хроматография, полиненасыщенные жирные кислоты.

A. N. Nikitenko<sup>1</sup>, E. D. Skakovskii<sup>2</sup>, S. A. Lamotkin<sup>1</sup>, I. S. Serbin<sup>1</sup>, A. V. Stribut<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Belarusian State Technological University

<sup>2</sup>Institute of Organic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus

### RESEARCH OF THE VEGETABLE OILS AND THEIR MIXTURES BY NMR-SPECTROSCOPY

The composition of vegetable oils with different  $\omega$ -6 and  $\omega$ -3 fatty acids content (corn, camelina, linseed) is considered. The calculation of the optimal composition of blends for the preparation of dietary supplements. The qualitative and quantitative composition of polyunsaturated fatty acids of individual oils and blends by NMR-spectroscopy and gas chromatography was studied. It is shown that the use of these methods allows you to significantly detail the overall pattern of qualitative and quantitative analysis. The NMR-spectroscopy data confirmed the optimal ratio of  $\omega$ -6 and  $\omega$ -3 polyunsaturated fatty acids in the resulting mixtures of vegetable oils. Developed corn-flax and corn-rye blend of vegetable oils with  $\omega$ -6 and  $\omega$ -3 ratio of polyunsaturated fatty acids are at the level recommended for the human body and can be used to create biologically active additives based on vegetable oils.

**Key words:** blend, vegetable oil, NMR-spectroscopy, gas-liquid chromatography, polyunsaturated fatty acids.

**Введение.** Масла растительного происхождения являются важными функциональными ингредиентами, обеспечивающими жизнедеятельность организма человека. Особенно важна роль ненасыщенных жирных кислот: олеиновой ( $\omega$ -9), линолевой ( $\omega$ -6) и линоленовой ( $\omega$ -3). Ненасыщенные жирные кислоты ( $\omega$ -3 и  $\omega$ -6) относятся к эссенциальным компонентам пищевых продуктов, поскольку организм человека не может синтезировать их самостоятельно [1].

Дефицит эссенциальных жирных кислот в рационе питания приводит к нарушению биосинтеза арахидоновой кислоты, которая входит в большом количестве в состав структурных простогландинов и фосфолипидов, необходимых для жизнедеятельности организма. Кроме того, полиненасыщенные жирные кислоты об-

ладают высокой физиологической активностью, влияют на протекание воспалительных и обменных процессов, снижают риск сердечно-сосудистых заболеваний [2, 3].

Увеличение биологической ценности растительных масел достигается путем составления купажей и оптимизацией жирно-кислотного состава по содержанию и соотношению полиненасыщенных жирных кислот [1].

Содержание полиненасыщенных жирных кислот в рационе человека должно составлять 5–10% от всего суточного рациона [4]. Установлено оптимальное соотношение потребляемых полиненасыщенных жирных кислот  $\omega$ -6 :  $\omega$ -3 = 10 : 1 [5].

Решение проблемы нехватки физиологических функциональных ингредиентов в питании

человека возможно на основе разработки купажируемых смесей растительных масел со сбалансированным составом жирных кислот.

Широко распространенным методом идентификации жирнокислотного состава растительных масел является газожидкостная хроматография. Однако при использовании данного метода имеется ряд сложностей, связанных с наличием чистых веществ для идентификации. В ряде случаев при разделении сложных смесей возможно совпадение времен удерживания отдельных компонентов [6].

Среди неразрушающих методов исследования растительных масел широкое распространение получил метод ЯМР-спектроскопии. Данный метод позволяет быстро определить содержание жирных кислот и их соотношение, включая ненасыщенные жирные кислоты [6].

Спектроскопия ЯМР на основе известных химических сдвигов атомов углерода кислотных групп глицеридов жирных кислот, без дополнительной пробоподготовки, дает возможность количественно установить состав ненасыщенных жирных кислот глицеридов (олеиновая, линолевая и линоленовая кислоты) и определить вид растительного масла [7–12, 16].

Современные спектрометры позволяют методу ЯМР решать важные задачи по исследованию химического состава растительных масел [8]. В последние годы используются эффективные методики  $^{13}\text{C}$  ЯМР-спектроскопии с использованием широкополосной протонной развязки, применяющие низкоэнергетические импульсы, практически не вызывающие нагревание образца [9].

Метод  $^{13}\text{C}$ -ЯМР дает возможность быстро определить соотношение остатка линоленовой кислоты к сумме остатков линоленовой и олеиновой, а также отношения линоленовой-олеиновой кислот. Наряду с этим определение занимает несколько минут, требуемое количество образца составляет менее 20 мкг [10].

Работы ряда авторов показали, что при идентификации сырья и исследовании технологических параметров производства целесообразно использовать метод ЯМР высокого разрешения на ядрах  $^{13}\text{C}$ , так как он позволяет провести более детальный фрагментный анализ состава жирных кислот. При прочих равных условиях спектроскопия на ядрах  $^{13}\text{C}$  представляется более предпочтительной, чем на ядрах  $^1\text{H}$  [11, 12].

Результаты исследований, выполненных *Popescu R.* и др., показали возможность использования метода ЯМР-спектроскопии для оценки ботанического происхождения и обнаружения различных смесей растительных масел [8].

Комплексные исследования влияния массовой доли жирных кислот выполнены в работах

Украинцевой И. И. и Солонниковой Н. В. [13, 14]. Определено влияние линолевой кислоты масла семян льна (от 10 до 80%) и температуры (от 5 до 40°C) на значение амплитуд сигналов ЯМР и времен спин-спиновой релаксации отдельных компонент спиновой системы протонов. Разработан экспресс-способ определения массовой доли линоленовой кислоты, который характеризуется экологической чистотой, исключает применение токсичных химических реактивов и позволяет не проводить разрушение исследуемого образца [13].

Описан метод количественного определения частично замещенных ацилглицеридов в свободных жирных кислотах с помощью спектров  $^{13}\text{C}$  ЯМР. Определены величины химических сдвигов, времена и константы спин-решеточной релаксации углеродных атомов глицерина в моно-, ди- и триацилглицеридах. Установлены величины химических сдвигов и периоды спин-решеточной релаксации для алифатических C-атомов ацильных групп. Показано, что частично замещенные ацилглицериды присутствуют в растительном масле в значительных количествах и оказывают большое влияние на физические свойства масла и продуктов, содержащих их, а также на процессы фракционирования масел [15].

Высокоинформативным является метод ЯМР-спектроскопии, совмещенный с другими методами анализа.

При исследовании растительных масел методами газожидкостной хроматографии и ЯМР-спектроскопии установлен состав жирных кислот, минорные примеси –  $\beta$ -ситостерин, гексаль, транс-2-гексаль, формальдегид, сквален, циклоартенол и линоленовая кислота, эфиры глицерина и др. [16].

Широко применяются совместные методы исследования при идентификации и определении фальсификации растительных масел [7].

На основе вышесказанного, целью данной работы было изучить состав растительных масел методами газожидкостной хроматографии и ЯМР-спектроскопии и разработать купажи со сбалансированным жирно-кислотным составом.

**Основная часть.** В качестве объектов исследования выбраны: рафинированное кукурузное масло и нерафинированные пищевые масла с высоким содержанием  $\alpha$ -линоленовой кислоты – льняное (высшего сорта) и рыжиковое (пищевое).

Регистрацию ЯМР-спектров проводили на спектрометре AVANCE-500 (Германия) с рабочими частотами для ядер  $^1\text{H}$  и  $^{13}\text{C}$  – 500 МГц и 125 МГц, соответственно. Для количественного анализа образцов 0,2 мл растительного масла

растворяли в 0,3 мл  $\text{CDCl}_3$ . Химические сдвиги сигналов протонов соединений определяли по сигналу хлороформа ( $\text{CHCl}_3$ ,  $\delta = 7,27$  м. д.), который присутствовал в дейтерированном растворителе. Запись спектров выполняли с учетом релаксации протонов всех соединений.

При записи спектров  $^{13}\text{C}$  в качестве реперного также использовали сигнал растворителя ( $\delta = 77,7$  м. д.). Для количественного анализа спектры записывали с подавлением взаимодействия с протонами и с использованием импульсных последовательностей, исключающих проявление эффекта Оверхаузера. Для уменьшения времени спин-решеточной релаксации в растворе добавляли трис-ацетилацетонат хрома.

Поскольку релаксант незначительно изменяет химические сдвиги ядер  $^{13}\text{C}$  компонентов эфирных масел, для контроля были записаны спектры доступных индивидуальных кислот, присутствующих в этих маслах: олеиновой, линолевой, линоленовой, пальмитиновой и стеариновой. Отнесение сигналов проводили с использованием методики записи спектров с переносом поляризации (DEPT). Все экспериментальные данные были получены и обработаны с помощью пакета программ XWIN-NMR 3.5.

Жирно-кислотный состав в растительных маслах и их купажах дополнительно исследовали методом газожидкостной хроматографии на приборе «Хроматэк Кристалл 5000.1», оснащенном ПИД-детектором, кварцевой капиллярной колонкой (длина 100 м, диаметр колонки – 0,25 мм, нанесенная фаза – цианопропилфенилполисилоксан). При исследовании применяли газ-носитель – азот. Объем вводимой пробы – 1 мкл. Исследование выполнено согласно методике, изложенной в ГОСТ 30418 [16]. Подготовку метиловых эфиров жирных кислот проводили согласно ГОСТ 31665 [17].

Условия хроматографирования: начальная температура термостата колонок –  $140^\circ\text{C}$  в течение 4 мин, затем программированный подъем температуры со скоростью  $3^\circ\text{C}/\text{мин}$  до  $180^\circ\text{C}$  – изотермический режим на протяжении 40 мин. Далее программированный подъем температуры со скоростью  $3^\circ\text{C}/\text{мин}$  до  $240^\circ\text{C}$  – изотермический режим в течение 25 мин. Идентификацию жирных кислот осуществляли с помощью эталонных смесей. Количество жирных кислот в образцах определяли методом внутренней нормализации с использованием программного обеспечения Unichrome®.

В начале исследований был изучен жирно-кислотный состав растительных масел. Основываясь на полученных результатах, проведен расчет двухкомпонентных купажей масел.

Оптимальное соотношение полиненасыщенных жирных кислот достигалось при соотношении масел в купажах в количестве 95 : 5 – кукурузное и льняное и 81,5 : 18,5 – кукурузное и рыжиковое.

Смешивание масел проводили ступенчато, внося их в термостатируемую ( $35\text{--}40^\circ\text{C}$ ) емкость при скорости перемешивания не ниже 100 об/мин, в течение 15 мин.

После составления купажей выполнены их исследования методами ЯМР-спектроскопии и газожидкостной хроматографии.

Химические сдвиги области двойных связей ацильных цепей жирных кислот в растительных маслах и купажах приведены на углеродных спектрах (рис. 1–3).

Спектр ЯМР  $^1\text{H}$  состоял из ряда мультиплетов. Химические сдвиги сигналов протонов соединений определяли по сигналу хлороформа ( $\text{CHCl}_3$ ,  $\delta = 7,26$  м. д.), который присутствовал в качестве примеси в дейтерированном растворителе.

В области 5,2–5,4 м. д. наблюдались сигналы олефиновых протонов и метинового протона глициринового остатка; 4,1–4,3 м. д. – диапазон химических сдвигов метиленовых протонов глицерина; 2,6–2,8 м. д. – поглощали метиленовые протоны  $\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}$ -остатков линолевой и линоленовой кислот; около 2,3 м. д. – все метиленовые протоны, расположенные рядом с карбоксильной группой; примерно 2,0 м. д. – все метиленовые протоны рядом с двойными связями; около 1,6 м. д. – следующие метиленовые протоны; 1,2–1,4 м. д. – диапазон химических сдвигов всех оставшихся метиленовых протонов; около 0,95 м. д. – метильные протоны линоленовой кислоты, расположенные рядом с двойной связью; 0,8–0,9 м. д. – диапазон химических сдвигов всех метильных протонов, кроме линоленовой.

Спектр ЯМР  $^{13}\text{C}$  значительно более информативен. Полный спектр ЯМР  $^{13}\text{C}$  рыжикового масла включал следующие группы сигналов: в области около 173 м. д. поглощали атомы углерода карбоксильных групп; область поглощения двойных связей находилась в интервале 127–132 м. д., причем в области около 130,4–130,5 м. д. поглощали C-13 и C-14 углероды эруковой кислоты. Углероды глициринового остатка поглощали около 69 м. д. (CH) и примерно 62 м. д. (CH<sub>2</sub>). Метиленовые C-атомы молекулярной цепочки проявились в области 21–34 м. д., метильные углероды – около 14 м. д.

Благодаря сходству химического строения жирных кислот масел сигналы ЯМР отдельных кислот наблюдались близко друг к другу и образовывали кластеры.

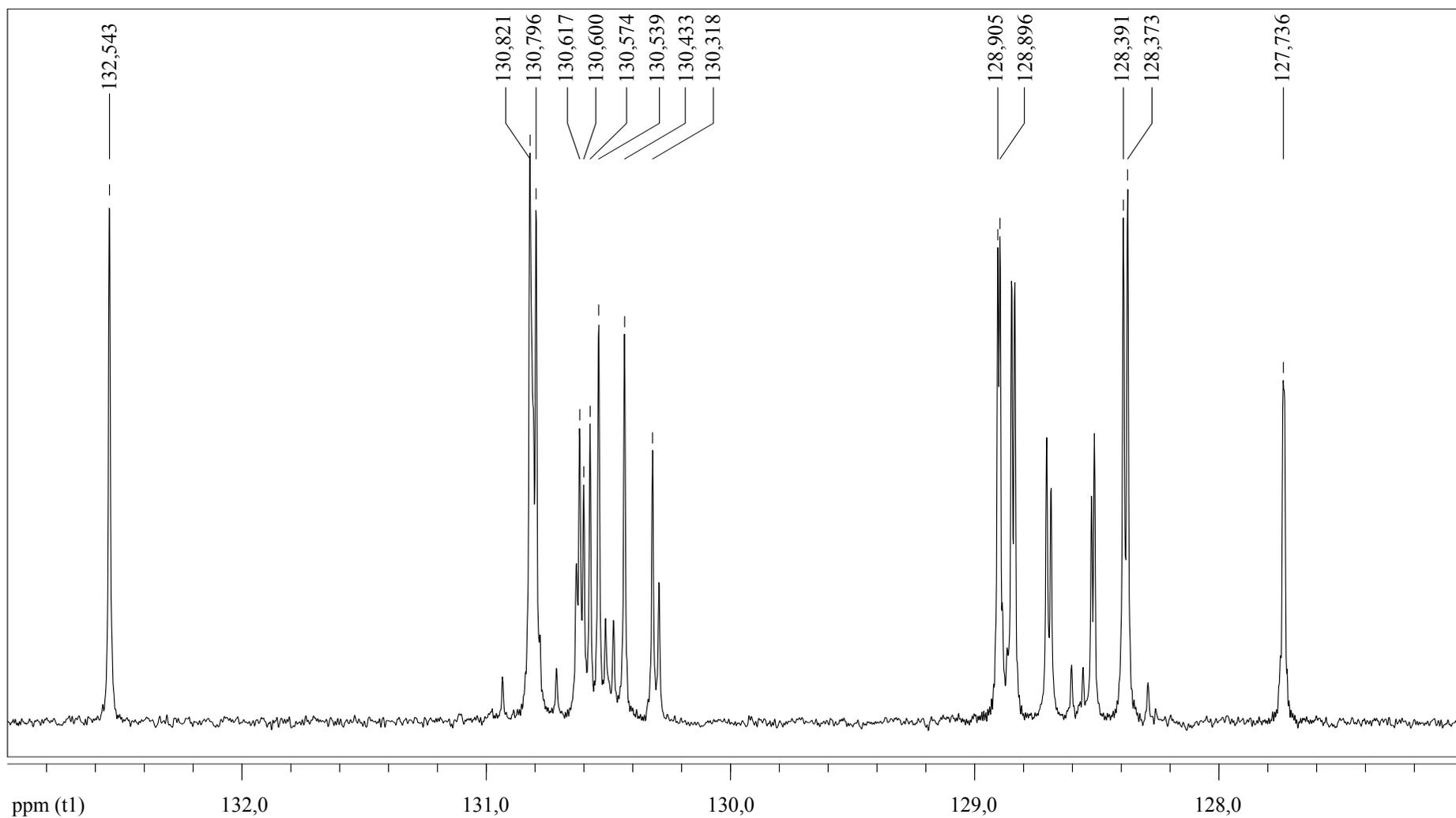


Рис. 1. Фрагмент спектра ЯМР  $^{13}\text{C}$  рыжикового масла в  $\text{CDCl}_3$  (область двойных связей)

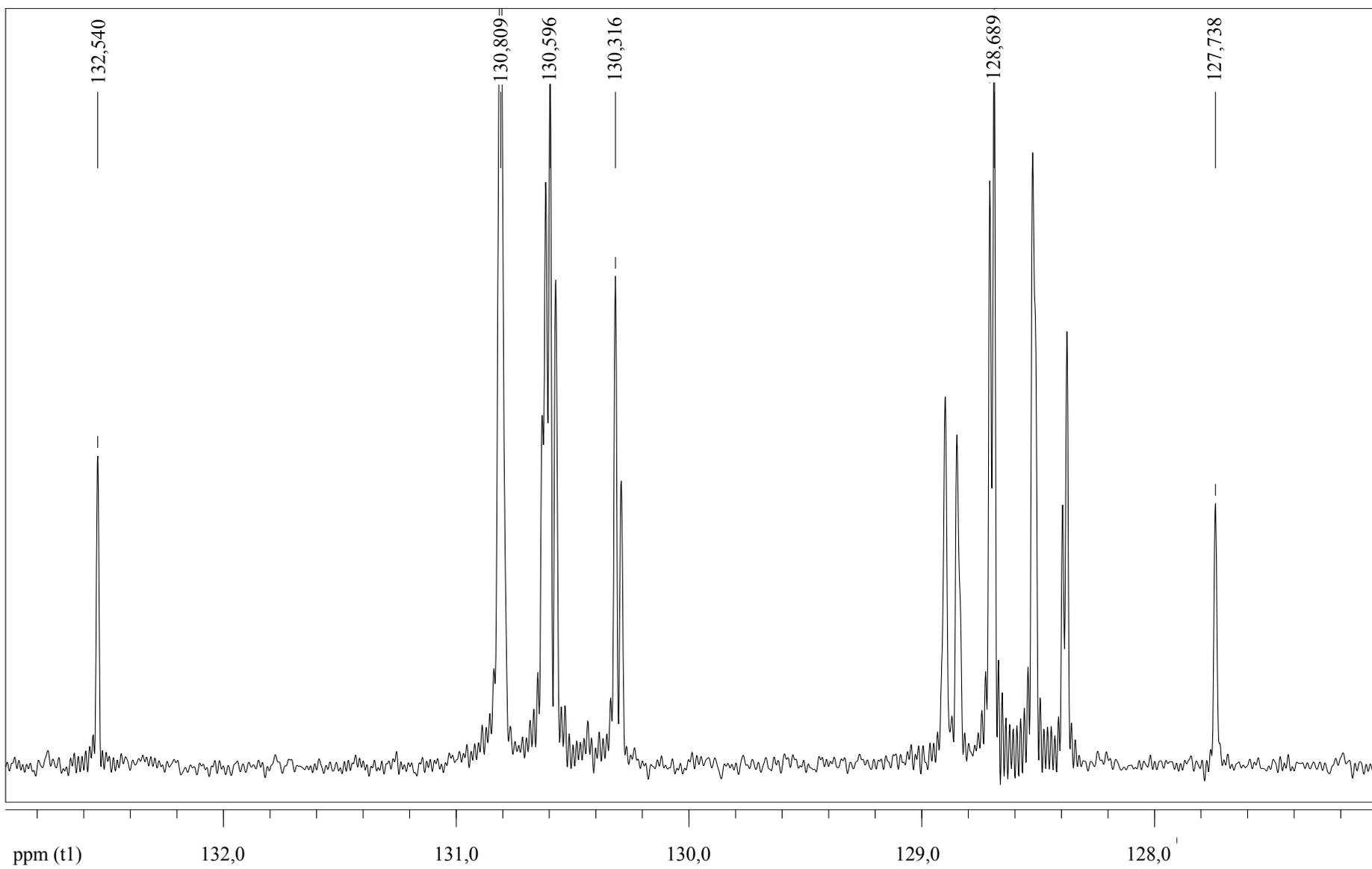


Рис. 2. Фрагмент спектра ЯМР <sup>13</sup>С кукурузно-льняного масла в CDCl<sub>3</sub> (область двойных связей)

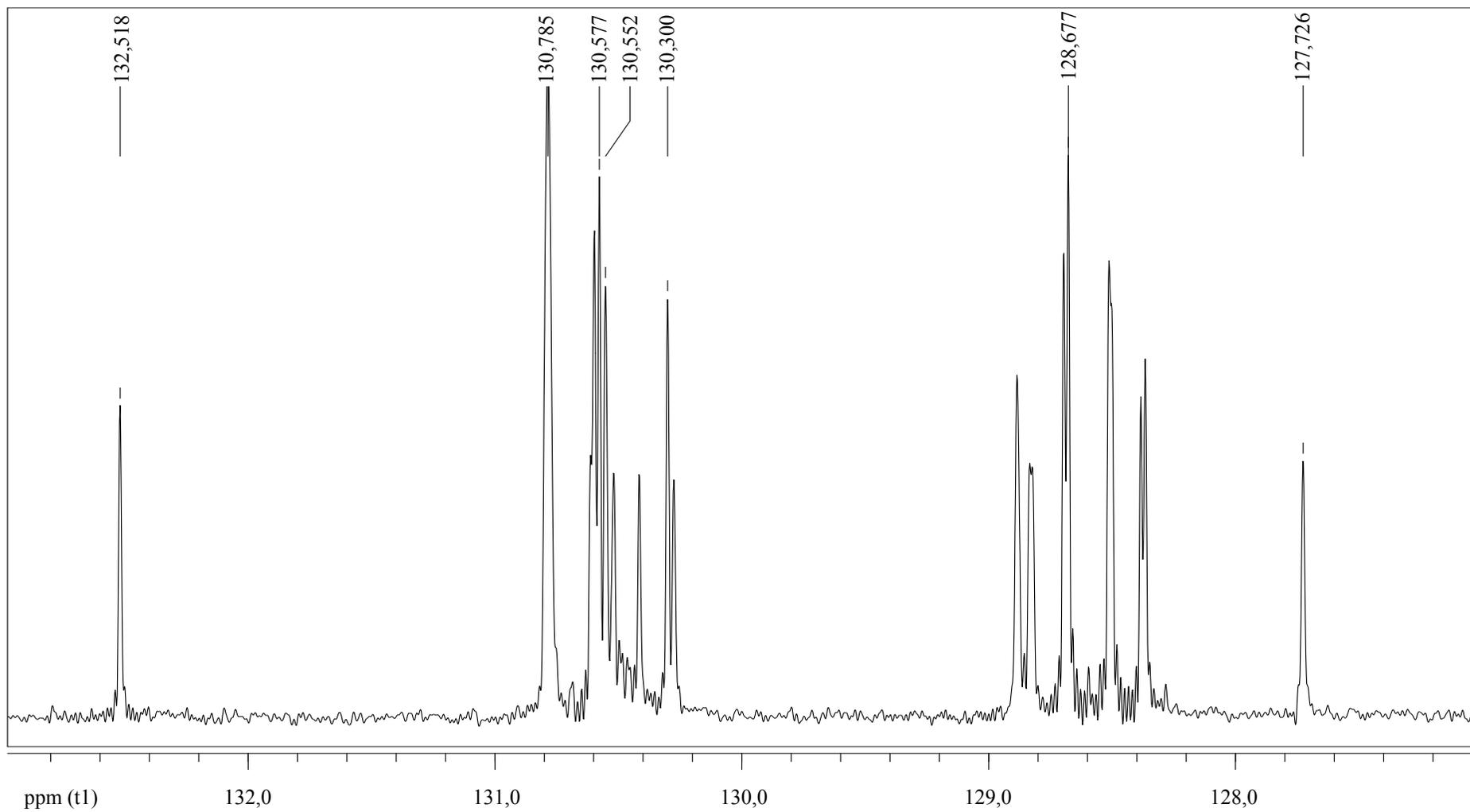


Рис. 3. Фрагмент спектра ЯМР  $^{13}\text{C}$  кукурузно-рыжикового масла в  $\text{CDCl}_3$  (область двойных связей)

Наиболее характеристичные сигналы имели углероды при двойных связях, что позволяло достаточно легко идентифицировать химические соединения. Поэтому рассмотрим более подробно химические сдвиги области двойных связей ацильных цепей жирных кислот купажей растительных масел на углеродных спектрах (рис. 1–3).

Как видно из фрагмента спектра рыжикового масла (рис. 1), наиболее интенсивными являются сигналы линоленовой кислоты (127,7; 128,3; 128,8; 130,7; 132,4 м. д.) – основные в данном виде масла. Сигналы линолевой (128,5; 130,6; 130,8 м. д.) и олеиновой (130,2; 130,6 м. д.) кислот менее интенсивны.

На рис. 2, 3 представлены фрагменты спектров ЯМР  $^{13}\text{C}$  купажей растительных масел на основе кукурузного масла, предлагаемых для использования в качестве основы БАД. Как видно из полученных данных (рис. 2 и 3), на спектрах существенно изменилось соотношение сигналов всех жирных кислот. В частности, произошло значительное увеличение сигнала олеиновой кислоты как основной в кукурузном масле. Также изменилось соотношение линолевой и линоленовой кислот.

Результаты исследования состава ненасыщенных жирных кислот триглицеридов купажей растительных масел приведены на рис. 4. Как видно из полученных данных, соотношение содержания  $\omega$ -6 и  $\omega$ -3 жирных кислот в купажах растительных масел составило: 8 : 1 (кукурузно-рыжиковый) и 10 : 1 (кукурузно-льняной).

Сравнивая представленные результаты (рис. 1–3), основываясь на изменении интенсивности сигналов отдельных жирных кислот, можно утверждать о достигнутом соотношении содержания  $\omega$ -6 и  $\omega$ -3 жирных кислот в полу-

ченных купажах на уровне, соответствующем рекомендуемому.



Рис. 4. Количество ненасыщенных жирных кислот в купажах растительных масел

**Заключение.** Таким образом, методами ЯМР-спектроскопии и газожидкостной хроматографии детально изучен состав кукурузного, рыжикового и льняного масел. Показано, что использование данных методов позволяет значительно детализировать результаты качественного и количественного анализа. Данными спектроскопии ЯМР подтверждено оптимальное соотношение  $\omega$ -6 и  $\omega$ -3 полиненасыщенных жирных кислот в полученных купажах растительных масел.

Разработанные кукурузно-льняной и кукурузно-рыжиковый купажи растительных масел с оптимизированным соотношением  $\omega$ -6 и  $\omega$ -3 полиненасыщенных жирных кислот могут быть использованы при создании биологически активных добавок на основе растительных масел.

## Литература

1. О'Брайен Р. Жиры и масла. Производство, состав и свойства, применение. СПб.: Профессия, 2007. 752 с.
2. Myhrstad M. C. W., Retterstol K., Telle-Hansen V. H. Effect of marine n-3 fatty acids on circulating inflammatory markers in healthy subjects and subjects with cardiovascular risk factors // *InflammRes*. 2011. Vol. 60, no. 4. P. 309–319.
3. Fetterman J. W., Zdanowicz M. M. Therapeutic potential of n-3 polyunsaturated fatty acids in disease // *Am J Health Syst Pharm*. 2009. Vol. 66, no. 13. P. 1169–1179.
4. Об утверждении санитарных гигиенических нормативов правил и норм «Требования к потреблению пищевых веществ и энергии для различных групп населения Республики Беларусь»: постановление М-ва здравоохранения Респ. Беларусь, 12 нояб. 2012 г., № 180 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. 2012. № 8/25580.
5. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации. Методические рекомендации. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. 36 с.
6. Гольберт К. А., Введение в газовую хроматографию. М.: Химия, 1990. 352 с.
7. Food Industries Manual / edited by M. D. Ranken, R. C. Kill. 23rd. 1993. 604 p.

8. Discrimination of vegetable oils using NMR spectroscopy and chemometrics / R. Popescu [et al.] // *Food Control*. 2015. Vol. 48, no. 4. P. 84–90.
9. Прасолов Д. В. Разработка способов оценки качества и идентификация семян подсолнечника на основе метода ядерно-магнитного резонанса: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 01.03.04. Краснодар, 2003. 22 с.
10. Shaka A. J., Keeler J. Broadband spin decoupling in isotropic liquids // *Prog. Nucl. Magn. Reson. Spectrosc.* 1987. Vol. 47, no. 19. P. 129–134.
11. Linseed oil and mixture with maleic anhydride:  $^1\text{H}$  and  $^{13}\text{C}$ -NMR / A. Solladie-Cavallo [et al.] // *J. Amer. Oil Chem. Soc.* 2003. Vol. 80, no. 4. P. 311–314.
12. Попов К. И. Применение спектроскопии ядерного магнитного резонанса для экспрессного определения содержания непредельных жирных кислот в растительных и животных жирах // *Индустрия продуктов здорового питания – 3 тысячелетие: человек, наука, технология, экономика: тезисы докладов Международной научно-практической конференции, Москва, 24–25 февр. 1999 г.* / Изд-во МГУПП. Москва, 1999. С. 233–234.
13. Климова Н. С., Рыков Р. С., Калабин Г. А. Возможности спектроскопии ЯМР в идентификации растительных масел с лечебно-диетическими свойствами // *Актуал. пробл. экол. и природопольз.* 2004. № 5. С. 236–240.
14. Украинцева И. И. Разработка способов оценки качества и идентификации семян льна на основе метода ядерно-магнитной релаксации: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 29.03.05. Краснодар, 2004. 23 с.
15. Солонникова Н. В. Разработка способов оценки качества и идентификации семян рапса на основе метода ядерно-магнитной релаксации: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 12.01.07. Краснодар, 2006. 24 с.
16. Senouci H. Quantitative analysis of partial acylglycerols and free fatty acids in palm oil by  $^{13}\text{C}$  nuclear magnetic resonance spectroscopy // *J. Amer. Oil Chem. Soc.* 2000. Vol. 77, no. 7. P. 749–755.
17. Масла растительные. Метод определения жирнокислотного состава: ГОСТ 30418–96. Введ. 01.01.1998. Минск: Межгосуд. совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1998. 5 с.
18. Масла растительные и жиры животные. Получение метиловых эфиров жирных кислот: ГОСТ 31665-2012. Введ. 01.02.2015. Минск: Государственный комитет по стандартизации Республики Беларусь, 2015. 12 с.

### References

1. O'Brayen R. *Zhiry i masla. Proizvodstvo, sostav i svoystva, primeneniye* [Fats and oils. Production, composition and properties, application]. St. Petersburg, Professiya Publ., 2007. 752 p.
2. Myhrstad M. C. W., Retterstol K., Telle-Hansen V. H. Effect of marine n-3 fatty acids on circulating inflammatory markers in healthy subjects and subjects with cardiovascular risk factors. *InflammRes.*, 2011, vol. 60, no. 4, pp. 309–319.
3. Fetterman J. W., Zdanowicz M. M. Therapeutic potential of n-3 polyunsaturated fatty acids in disease. *Am J Health Syst Pharm.*, 2009, vol. 66, no. 13, pp. 1169–1179.
4. On the Approval of Sanitary Norms, Regulations and Hygienic Norms „Requirements for the consumption of nutrients and energy for different groups of the population of the Republic of Belarus”. *Natsional'nyy reestr pravovykh aktov Respubliki Belarus'* [National register of legal acts of the Republic of Belarus], 2012, no. 8125580.
5. *Normy fiziologicheskikh potrebnoyey v energii i pishchevykh veshchestvakh dlya razlichnykh grupp naseleniya Rossiyskoy Federatsii. Metodicheskiye rekomendatsii* [Norms of physiological needs for energy and nutrients for various groups of the population of the Russian Federation. Guidelines]. Moscow, Federal'nyy tsentr gigieny i epidemiologii Rospotrebnadzora Publ., 2009. 36 p.
6. Gol'bert K. A. *Vvedenie v gazovuyu khromatografiyu* [Introduction to Gas Chromatography]. Moscow, Kimiya Publ., 1990. 352 p.
7. Food Industries Manual. Ed. by M. D. Ranken, R. C. Kill. 23rd. 1993. 604 p.
8. Popescu R., Costinel D., Dinca O. R., Marinescu A., Stefanescu I., Ionete R. E. Discrimination of vegetable oils using NMR spectroscopy and chemometrics. *Food Control.*, 2015, vol. 48, no. 4, pp. 84–90.
9. Prasolov D. V. *Razrabotka sposobov otsenki kachestva i identifikatsiya semyan podsolnechnika na osnove metoda yaderno-magnitnogo rezonansa. Avtoref. dis. kand. tekhn. nauk* [Development of methods for assessing the quality and identification of sunflower seeds based on the method of nuclear magnetic resonance. Abstract of thesis cand. of tech. sci.]. Krasnodar, 2003. 22 p.
10. Shaka A. J., Keeler J. Broadband spin decoupling in isotropic liquids. *Prog. Nucl. Magn. Reson. Spectrosc.*, 1987, vol. 47, no. 19, pp. 129–134.

11. Solladie-Cavallo A., Senouci H., Jierry L., Klein A. Linseed oil and mixture with maleic anhydride:  $^1\text{H}$  and  $^{13}\text{C}$ -NMR. *J. Amer. Oil Chem. Soc.*, 2003, vol. 80, no. 4, pp. 311–314.
12. Popov K. I. [The use of nuclear magnetic resonance spectroscopy for the rapid determination of unsaturated fatty acids in vegetable and animal fats]. *Tezisy dokladov Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Industriya produktov zdorovogo pitaniya – 3 tysyacheletiy: chelovek, nauka, tehnologiya, ekonomika"* [Abstracts of the International Scientific and Practical Conference "The industry of healthy food products – 3 millennium: people, science, technology, economy"]. Moscow, 1999, pp. 233–234 (In Russian).
13. Klimova N. S., Rykov R. S., Kalabin G. A. The possibilities of NMR spectroscopy in the identification of vegetable oils with therapeutic and dietary properties. *Aktual'nyye problemy ekologii i prirodopol'zovaniya* [Actual. problems eco and nature management], 2004, no. 5, pp. 236–240.
14. Ukraintseva I. I. *Razrabotka sposobov otsenki kachestva i identifikatsii semyan l'na na osnove metoda yaderno-magnitnoy relaksatsii. Avtoref. dis. kand. tekhn. nauk* [Development of methods for assessing the quality and identification of flax seeds based on the method of nuclear magnetic relaxation. Abstract of thesis cand. of tech. sci.]. Krasnodar, 2004. 23 p.
15. Solonnikova N. V. *Razrabotka sposobov otsenki kachestva i identifikatsiya semyan rapsa na osnove metoda yaderno-magnitnogo rezonansa. Avtoref. dis. kand. tekhn. nauk* [Development of methods for assessing the quality and identification of canola seeds based on the method of nuclear magnetic resonance. Abstract of thesis cand. of tech. sci.]. Krasnodar, 2006. 24 p.
16. Senouci H. Quantitative analysis of partial acylglycerols and free fatty acids in palm oil by  $^{13}\text{C}$  nuclear magnetic resonance spectroscopy. *J. Amer. Oil Chem. Soc.*, 2000, vol. 77, no. 7, pp. 749–755.
17. GOST 30418–96. Vegetable oils. Method for determination of fatty acid composition. Minsk, Mezghosudarstvennyy sovet po standartizatsii, metrologii i sertifikatsii Publ., 1998. 5 p. (In Russian).
18. GOST 31665–2012. Vegetable oils and animal fats. Preparation of fatty acid methyl esters. Minsk, Gosudarstvennyy komitet po standartizatsii Respubliki Belarus' Publ., 2015. 12 p. (In Russian).

#### Информация об авторах

**Никитенко Анастасия Николаевна** – кандидат технических наук, доцент кафедры физико-химических методов сертификации продукции. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: dennast9@mail.ru

**Скаковский Евгений Доминикович** – кандидат химических наук, заведующий лабораторией физико-химических методов исследования. Институт физико-органической химии Национальной академии наук Беларуси (220072, Минск, ул. Сурганова, 13, Республика Беларусь). E-mail: sed@ifoch.bas-net.by

**Ламоткин Сергей Александрович** – кандидат химических наук, доцент, доцент кафедры физико-химических методов сертификации продукции. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: jossby@rambler.ru

**Сербин Иван Сергеевич** – студент. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: serb\_vano@mail.ru

**Стрибуть Александр Викторович** – студент. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: brigantina666@mail.ru

#### Information about the authors

**Nikitenko Anastasia Nikolaevna** – PhD (Engineering), Assistant Professor, the Department of Physical and Chemical Methods for Products Certification. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: dennast9@mail.ru

**Skakovskii Evgenii Dominikovich** – PhD (Chemistry), Head of the Laboratory of Physic-Chemical Methods of Research. Institute of Organic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus (13a, Sarganova str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: sed@ifoch.bas-net.by

**Lamotkin Sergey Aleksandrovich** – PhD (Chemistry), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Physical and Chemical Methods for Products Certification. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: jossby@rambler.ru

**Serbin Ivan Sergeyeovich** – student. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus) E-mail: serb\_vano@mail.ru

**Stribut' Aleksandr Viktorovich** – student. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus) E-mail: brigantina666@mail.ru

Поступила 05.04.2019