

УДК 635.83:543.429.23:543.544.43

Е. Д. Скаковский¹, Л. Ю. Тычинская¹, Л. Н. Шаченкова¹, Д. Н. Латышевич¹,
С. Е. Богусевич², С. А. Ламоткин³

¹Институт физико-органической химии Национальной академии наук Беларуси

²Институт биоорганической химии Национальной академии наук Беларуси

³Белорусский государственный технологический университет

АНАЛИЗ СОСТАВА ЭКСТРАКТОВ БЕЛЫХ ГРИБОВ МЕТОДАМИ ЯМР И ГЖХ

Методом ¹H и ¹³C ЯМР проведен анализ водных-d₂, гексановых и хлороформных-d экстрактов плодовых тел белых грибов формы еловая (*Boletus edulis f. edulis*). Исследовались высушенные при 60°C и размолотые шляпки указанных грибов совместно с ножками. В D₂O-экстрактах обнаружены 4 углевода: трегалоза, глюкоза, фруктоза и маннит и 10 аминокислот: аланин, γ-аминомасляная кислота, аспарагин, валин, глутамин, лизин, пролин, тирозин, треонин и фенилаланин. Среди углеводов преобладали трегалоза и глюкоза, а среди аминокислот – аланин, γ-аминомасляная кислота и глутамин. ГЖХ-анализ гексановых экстрактов порошка плодовых тел белых грибов показал наличие четырех основных жирных кислот: пальмитиновой, стеариновой, линолевой и олеиновой с преобладанием последней. Исследование методом ЯМР CDCl₃-экстрактов позволило установить наличие практически только триацилглицеридов в растворе и дало хорошую корреляцию с данными ГЖХ. Изучение соотношения интегральных интенсивностей линий, принадлежащих олефиновым атомам углерода в спектрах ¹³C ЯМР, позволило определить преимущественное нахождение остатков ненасыщенных жирных кислот в молекулах триацилглицеридов. Для олеиновой и линолевой кислот – это центральное положение, а для насыщенных – боковые. Показано, что плодовые тела белых грибов являются не только ценным пищевым продуктом, но и имеют фармацевтическое значение.

Ключевые слова: белые грибы, ¹H и ¹³C ЯМР, ГЖХ, углеводы, аминокислоты, жирные кислоты.

Для цитирования: Скаковский Е. Д., Тычинская Л. Ю., Шаченкова Л. Н., Латышевич Д. Н., Богусевич С. Е., Ламоткин С. А. Анализ состава экстрактов белых грибов методами ЯМР и ГЖХ // Труды БГТУ. Сер. 2, Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. 2023. № 1 (265). С. 21–29. DOI: 10.52065/2520-2669-2023-265-1-3.

E. D. Skakovskii¹, L. Yu. Tychinskaya¹, L. N. Shachenkova¹, D. N. Latyshevich¹,
S. E. Bogushevich², S. A. Lamotkin³

¹Institute of Physical and Organic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus

²Institute of Bioorganic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus

³Belarusian State Technological University

COMPOSITIONAL ANALYSIS OF PORCINI MUSHROOM EXTRACTS BY NMR AND GLC METHODS

The analysis of water-d₂, hexane and chloroform-d extracts of the porcini mushroom fruit bodies of the spruce form (*Boletus edulis f. edulis*) was carried out by the method of ¹H and ¹³C NMR. Caps and stipes of these mushrooms, dried at 60°C and ground together with the knives, were investigated. Four carbohydrates were found in D₂O extracts: trehalose, glucose, fructose and mannitol, and ten amino acids: alanine, γ-aminobutyric acid, asparagine, valine, glutamine, lysine, proline, tyrosine, threonine, and phenylalanine. Trehalose and glucose predominated among carbohydrates, while alanine, γ-aminobutyric acid, and glutamine dominated among amino acids. GLC analysis of porcini mushroom fruit bodies powder showed the presence of four basic fatty acids: palmitic, stearic, linoleic and oleic, with the latter prevailing. An NMR study of the CDCl₃ extracts made it possible to establish the presence of only triacylglycerides in the solution and gave a good correlation with the GLC data. The ratio study of the integral intensities of the lines belonging to the olefinic carbon atoms in the ¹³C NMR spectra gave an opportunity to determine the predominant presence of the residues of unsaturated fatty acids in the molecules of triacylglycerides. For oleic and linoleic acids, this is the central position, and for saturated ones, the side ones. It has been shown that the fruit bodies of porcini mushrooms are not only a valuable food product, but also have a pharmaceutical value.

Keywords: porcini mushrooms, ¹H and ¹³C NMR, GLC, carbohydrates, amino acids, fatty acids.

For citation: Skakovskii E. D., Tychinskaya L. Yu., Shachenkova L. N., Latyshevich D. N., Bogushevich S. E., Lamotkin S. A. Compositional analysis of porcini mushroom extracts by NMR and GLC methods. *Proceedings of BSTU, issue 2, Chemical Engineering, Biotechnologies, Geoecology*, 2023, no. 1 (265), pp. 21–29. DOI: 10.52065/2520-2669-2023-265-1-3 (In Russian).

Введение. Грибы – царство живой природы, объединяющее эукариотические организмы, которые сочетают в себе некоторые признаки как растений, так и животных. Особое внимание среди них заслуживают макромицеты – грибы со сложной устроенными плодовыми телами и многоклеточным мицелием. Мицелий состоит из системы тонких ветвящихся нитей – гифов (грибница). Он вырастает на много метров в длину. Накопив достаточный запас питательных веществ, грибница становится способной к размножению. У макромицетов этот процесс связан с образованием плодовых тел – той части грибного организма, которую мы обычно называем грибом. Многие виды грибов активно используются человеком в пищевых, хозяйственных и медицинских целях. В них содержатся белки, жиры, углеводы, различные минеральные соли и витамины.

В особом ряду съедобных грибов находятся белые грибы, относящиеся к грибам первой категории. Жители Германии с давних пор применяли белые грибы для лечения рака кожи; в них найдены вещества, исцеляющие различные сердечные болезни. Кроме того, в плодовых телах белых грибов обнаружен рибофлавин, отвечающий за нормальную функцию щитовидной железы, рост ногтей, волос, кожи и за здоровье организма в целом. Распут белые грибы преимущественно в еловых лесах и образуют микоризу с елью (*Boletus edulis f. edulis*).

Очевиден интерес, проявленный к изучению химического состава плодовых тел этих вкусных и питательных грибов. В монографии [1] показано, что в белых грибах содержится большое количество аморфных углеводов: гликоген, микроинулин, микродекстрин и др. В их составе есть многоатомные спирты, среди которых главное место занимает маннит (12,7–14,1%). В сухом веществе грибов находится 1–2% глюкозы и 0,27% дисахарида трегалозы.

Из сухих плодовых тел белых грибов были экстрагированы кипящей водой и затем выделены этанолом полисахариды [2]. Методом ГЖХ установлено, что в состав полисахаридов входят моносахариды: галактоза, глюкоза, ксилоза, манноза, рамноза и фукоза, главными компонентами среди них являются глюкоза и манноза. Показано, что выделенные полисахариды обладают высокой антиоксидантной активностью.

В работе [3] из плодовых тел грибов, выросших в Китае, экстракцией кипящей водой был выделен новый водорастворимый гетерополисахарид. Анализ его строения был проведен методами ВЭЖХ и ЯМР на ядрах ^1H и ^{13}C , а также при помощи УФ- и ИК-спектроскопии. Определение на основании стандартов декстрана показало, что выделенный полисахарид имеет молекулярный вес $1,08 \cdot 10^4$ Да. Он был идентифицирован состоящим из звеньев L-фукозы, D-маннозы,

D-глюкозы и D-галактозы в соотношении 0,21 : 0,23 : 1,17 : 1,00. Применение метилирования и 2D-ЯМР-спектроскопии позволило установить, что образовавшийся полисахарид содержит α -D(1→6)-галактопирановую основу с терминальной α -L-фукозильной единицей на 0–2, 2-D(2→6)-галактозильные единицы, β -D(1→6)-4-O-Me-глюкопирановую и β -D(1→6)-глюкопирановую основу с терминальной β -D-глюкозильной единицей, а также он содержит незначительные количества 2,6- β -D-маннопиранового остатка.

Другими важными компонентами плодовых тел белых грибов являются белки. Обилие белков в грибах объясняет их название – лесное мясо. Аминокислотный состав белков белых грибов приведен в монографии [4]. Содержание аминокислот на 100 г белка следующее (г): аланин – 7,12; аргинин – 8,70; аспарагиновая кислота – 9,81; валин – 4,82; гистидин – 8,70; γ -аминомасляная кислота – 1,08; глицин – 4,85; глутаминовая кислота – 13,34; лейцин и изолейцин – 11,97; лизин – 7,47; метионин – 4,03; орнитин – 1,20; серин – 3,80; тирозин – 3,77; треонин – 4,58; триптофан – 0,59; фенилаланин – 6,66 и цистин с цистеином – 1,34.

При помощи газовой хроматографии совместно с масс-спектрометрией (ГХ-МС) проведено сравнительное исследование содержания свободных аминокислот в водно-спиртовых экстрактах 15 видов съедобных диких грибов, принадлежащих к роду боровик (*Boletus*), собранных в районах Средиземноморья [5]. Экстракцию проводили в аппарате Сокслета в течение 2 ч при температуре 75°C. Были обнаружены: аланин, глицин, γ -аминомасляная кислота, валин, норвалин, изолейцин, пролин, метионин, серин, треонин, фенилаланин, аспарагиновая и глутаминовая кислоты, аспарагин, лизин, глутамин, аргинин, гистидин, тирозин и триптофан. Основными аминокислотами в плодовых телах были аргинин (133 мкМ/г сухого веса), аланин (12,8 мкМ/г сухого веса), глутамин (7,7 мкМ/г сухого веса) и глутаминовая кислота (4,0 мкМ/г сухого веса).

В этой же работе были идентифицированы и жирные кислоты из триацилглицеридов в виде полученных метиловых эфиров из 15 образцов грибов при помощи ГХ-МС. Доля насыщенных (пальмитиновая, стеариновая) жирных кислот у исследованных видов составляла 12–23% от общего количества липидов. Главной насыщенной кислотой была пальмитиновая (16:0). Среди мононенасыщенных было обнаружено 6 кислот с преобладанием олеиновой (18:1) – 15,2–42,6%. Среди полиеновых кислот были идентифицированы гексадекадиеновая (16:2), линолевая (18:2) и α -линоленовая (18:3) кислоты. Значительно более высокое содержание линолевой кислоты наблюдалось у всех исследованных видов белых грибов с максимальным содержанием 58,3%.

Экстракция жирных кислот из белых грибов докритическим и сверхкритическим диоксидом углерода изучена авторами работы [6]. Проведено исследование влияния давления и времени на выход экстракции. Анализу подвергались грибы, собранные в Хорватии летом 2008 г. Содержание компонентов экстрактов было установлено при помощи ГХ-МС после переэтерификации триацилглицеридов в метиловые эфиры жирных кислот. Основными жирными кислотами являлись: пальмитиновая, олеиновая и линолевая. При экстракции докритическим диоксидом углерода их содержание было 10,0, 40,2 и 41,4% соответственно, а сверхкритическим диоксидом углерода – 11,3, 34,3 и 44,6% соответственно. Помимо насыщенной пальмитиновой кислоты была обнаружена насыщенная стеариновая кислота (18:0), содержание которой варьировалось от 2,5 до 3,1%. Другие насыщенные жирные кислоты, такие как пентадекановая (15:0), маргариновая (17:0), арахидоновая (20:0), бегеновая (22:0) и лигноцериновая (24:0), присутствовали в количествах менее 0,5%. В исследованных экстрактах содержание ненасыщенной пальмитолеиновой кислоты (16:1, цис-9) составляло 0,6–0,8%. Содержание γ -линоленовой (18:3, цис-6, цис-9, цис-12) и гадолеиновой (20:1, цис-11) кислот было менее 0,5%.

При помощи ГХ проведено исследование содержания жира и жирных кислот в дикорастущих белых грибах из четырех районов Польши [7]. Идентифицировано 17 жирных кислот, главными из которых являлись пальмитиновая (19,8%), олеиновая (30,1%) и линолевая (41,0%). Установлено, что содержание жирных кислот заметно отличается в различных районах, а также в шляпках и ножках. Показано, что шляпки из-за большого содержания ненасыщенных жирных кислот являются более ценным сырьем, а сами грибы рекомендованы в качестве диеты для людей с повышенным уровнем холестерина в крови.

Таким образом, в экстрактах белых грибов проанализированы различные компоненты: углеводы, аминокислоты и жирные кислоты триацилглицеридов. Однако отсутствуют работы, в которых был бы проведен сравнительный анализ этих соединений в одних и тех же плодовых телах белых грибов.

Цель настоящей работы – ^1H и ^{13}C ЯМР-анализ различных экстрактов плодовых тел белых грибов для количественного определения содержания углеводов, аминокислот, ацилглицеридов и особенностей их строения.

Основная часть. Белые грибы формы еловая (*Boletus edulis f. edulis*) были собраны в окрестностях деревни Юратишки Ивьевского района Гродненской области. Три плодовых тела средних размеров были очищены от мусора, промыты водой, разрезаны на части и вы-

сушены в сушильном шкафу при температуре 60°C. Сухие грибы измельчали до порошкообразного состояния. Экстракцию осуществляли гексаном, CDCl_3 и D_2O при комнатной температуре в течение 24 ч, полученные растворы фильтровали. D_2O - и CDCl_3 -экстракты были непосредственно использованы для анализа методом ЯМР. Гексановый раствор подвергался ГЖХ-анализу. Для записи ЯМР-спектров этого экстракта растворитель удаляли, остаток растворяли в CDCl_3 . Количество веществ, перешедших в растворы при экстракции, составляло в D_2O 16,2%, в CDCl_3 и гексане – примерно 1%.

Поскольку в гексановом растворе находились преимущественно ацилглицериды, то для исследований методом ГЖХ их переводили в метиловые эфиры жирных кислот в соответствии с ГОСТ 31665–2012. Анализ осуществляли на хроматографе Кристалл 5000.1 при следующих условиях: кварцевая капиллярная колонка (длиной 100 м, диаметром 0,25 мм, нанесенная фаза – цианопропил-фенилполисилоксан); ПИД-детектор, газ-носитель – азот, объем вводимой пробы – 1 мкл. Начальная температура термостата колонок – 140°C в течение 4 мин, затем программированный подъем температуры со скоростью 3°C/мин до 180°C, изотермический режим в течение 40 мин. Далее программированный подъем температуры со скоростью 3°C/мин до 240°C и изотермический режим 25 мин.

Идентификацию отдельных компонентов проводили с использованием этанольных смесей жирных кислот Restek 35077 и Restek 35079 по индексам удерживания, согласно методике ГОСТ 30418–96.

Спектры ЯМР записаны на спектрометре AVANCE-500 (Bruker) с рабочими частотами 500 и 125 МГц для ядер ^1H и ^{13}C соответственно при температуре 20°C. Протонные спектры регистрировали в «количественном» режиме с использованием 30° импульса, а углеродные – 60°. Релаксационная задержка между импульсами составляла 5 с в обоих случаях. Для ^1H -спектров было сделано 256 накоплений, а для ^{13}C – 15 000. При накоплении спектров использовалась память 64 К, при обработке – 128 К. Постоянная времени при обработке ^1H -спектров составляла 0 Гц, ^{13}C – 1 Гц, использовали лоренцевскую форму линий. Перед интегрированием производилась ручная корректировка фазы и базовой линии. Количественное определение содержания компонентов экстрактов выполнялось по интегральным интенсивностям групп линий в протонных спектрах. Спектры на ядрах ^{13}C были необходимы для более полной идентификации компонентов экстрактов, их регистрацию осуществляли с подавлением протонного взаимодействия.

В качестве внутреннего стандарта для D₂O-растворов и для последующих количественных расчетов использовали добавленный в определенную концентрации трет-бутиловый спирт. Химические сдвиги сигналов стандарта в ¹H-спектре: δ CH₃ = 1,24 м. д., в ¹³C-спектре: δ CH₃ = 30,29 м. д. Внутренним стандартом в CDCl₃-растворах для протонных спектров служил сигнал CHCl₃, присутствующий в виде примеси в растворителе (δ = 7,27 м. д.), а для ¹³C – сигнал самого растворителя (δ = 77,7 м. д.). Все экспериментальные данные получены и обработаны с помощью пакета программ XWIN-NMR 3.5. Для идентификации соединений в аналогичных условиях предварительно записаны ¹H и ¹³C ЯМР-спектры ряда углеводов, аминокислот и жирных кислот в виде триацилглицеридов. Отнесение химических сдвигов этих соединений дано в работах [8–10]. На рис. 1 представлены спектры ЯМР D₂O-экстракта сухого порошка белых грибов. Римскими цифрами обозначены сигналы идентифицированных соединений соответственно их номерам в таблице. Из рис. 1 видно, что в экстракте присутствует достаточно много водорастворимых компонентов. Среди них преобладает дисахарид – трегалоза (на рис. 1 – IV), который образован двумя молекулами α-глюкозы, связанными α-1,1-гликозидной связью. Структурная формула и нумерация углеродных атомов представлены на рис. 2, а. Химические сдвиги (δ, м. д.) этого дисахарида в протонном спектре следующие: 1 – 5,19; 2 – 3,65; 3 – 3,85; 4 – 3,46; 5 – 3,84; 6 – 3,76 и 3,86; в ¹³C-спектре: 1 – 93,89; 2 – 71,71; 3 – 73,19; 4 – 70,36; 5 – 72,81 и 6 – 61,19. Наши результаты хорошо коррелируют с результатами работы [11], где подробно исследованы ¹H и ¹³C ЯМР-спектры трегалозы. Отнесение химических сдвигов проведено с применением корреляционной спектроскопии.

Кроме трегалозы в водном экстракте были обнаружены еще три углевода – глюкоза (I), фруктоза (III) и маннит (II). Известно, что в водных растворах глюкоза присутствует главным образом в виде двух аномеров: α-D- и β-D-глюкопиранозы. Содержание β- и α-глюкопираноз составляет соответственно около 64 и 36%, других таутомеров – менее 1%. Фруктоза представлена более разнообразно: β-D-фруктопираноза – 68,2%, β-D-фруктофураноза – 22,4%, α-D-фруктофураноза – 6,2%, α-D-фруктопираноза – 2,7% и кето-D-фруктоза – 0,5%. Подробное отнесение химических сдвигов указанных таутомеров рассмотрено ранее [12]. В данной работе мы приводим суммарное содержание таутомеров.

Структурная формула и нумерация углеродных атомов маннита представлены на рис. 2, б. Химические сдвиги протонов, связанных с атомами углерода, соответственно равны (δ, м. д.):

1,6 – 3,68; 3,86; 2,5 – 3,75; 3,4 – 3,79. Гидроксильные атомы водорода из-за быстрого обмена с протонами воды проявляются одним сигналом – 4,81 м. д. ¹³C-спектр содержит три линии (δ, м. д.): 1,6 – 64,00; 2,5 – 71,60 и 3,4 – 70,02.

Кроме четырех углеводов в спектрах ЯМР были обнаружены сигналы десяти аминокислот: аланина (V), γ-аминомасляной кислоты (VI), аспарагина (VII), валина (VIII), глутамина (IX), лизина (X), пролина (XI), тирозина (XII), треонина (XIII) и фенилаланина (XIV). Отнесение линий в спектрах ¹H и ¹³C этих аминокислот приведено в [8, 9]. Содержание углеводов и аминокислот в водном-d₂ экстракте белых грибов представлено в таблице.

Содержание углеводов и аминокислот в D₂O-экстракте белых грибов

№ п/п	Соединение (обозначение на рис. 1)	Количество, мол. %
1	Глюкоза (I)	7,4
2	Маннит (II)	2,2
3	Фруктоза (III)	2,9
4	Трегалоза (IV)	44,6
5	Аланин (V)	9,3
6	γ-Аминомасляная кислота (VI)	7,1
7	Аспарагин (VII)	1,1
8	Валин (VIII)	1,5
9	Глутамин (IX)	7,1
10	Лизин (X)	3,1
11	Пролин (XI)	1,8
12	Тирозин (XII)	0,9
13	Треонин (XIII)	3,6
14	Фенилаланин (XIV)	1,3

Таким образом, в результате исследований установлено, что главными углеводами водных экстрактов белых грибов являются трегалоза (44,6%) и глюкоза (7,4%), что противоречит данным работы [1]. Среди аминокислот нами обнаружены аспарагин и глутамин вместо приведенных в [4] аспарагиновой и глутаминовой кислот. Наибольшим содержанием в экстракте отличаются аланин (9,3%), γ-аминомасляная кислота (7,1%) и глутамин (7,1%).

Поскольку аланин обладает антиоксидантными и антивозрастными свойствами, γ-аминомасляная кислота находит применение в лечении больных пожилого возраста, а глутамин необходим для нормализации работы иммунной системы и кишечника, становится ясным, что белые грибы дополнительно к пищевому имеют и фармацевтическое значение.

ГЖХ-анализ гексанового экстракта белых грибов показал наличие четырех главных жирных кислот: пальмитиновой (9,4%), стеариновой (2,0%), олеиновой (51,5%) и линолевой (27,8%). Кроме того, в незначительных количествах присутствовали и другие неидентифицированные жирные кислоты.

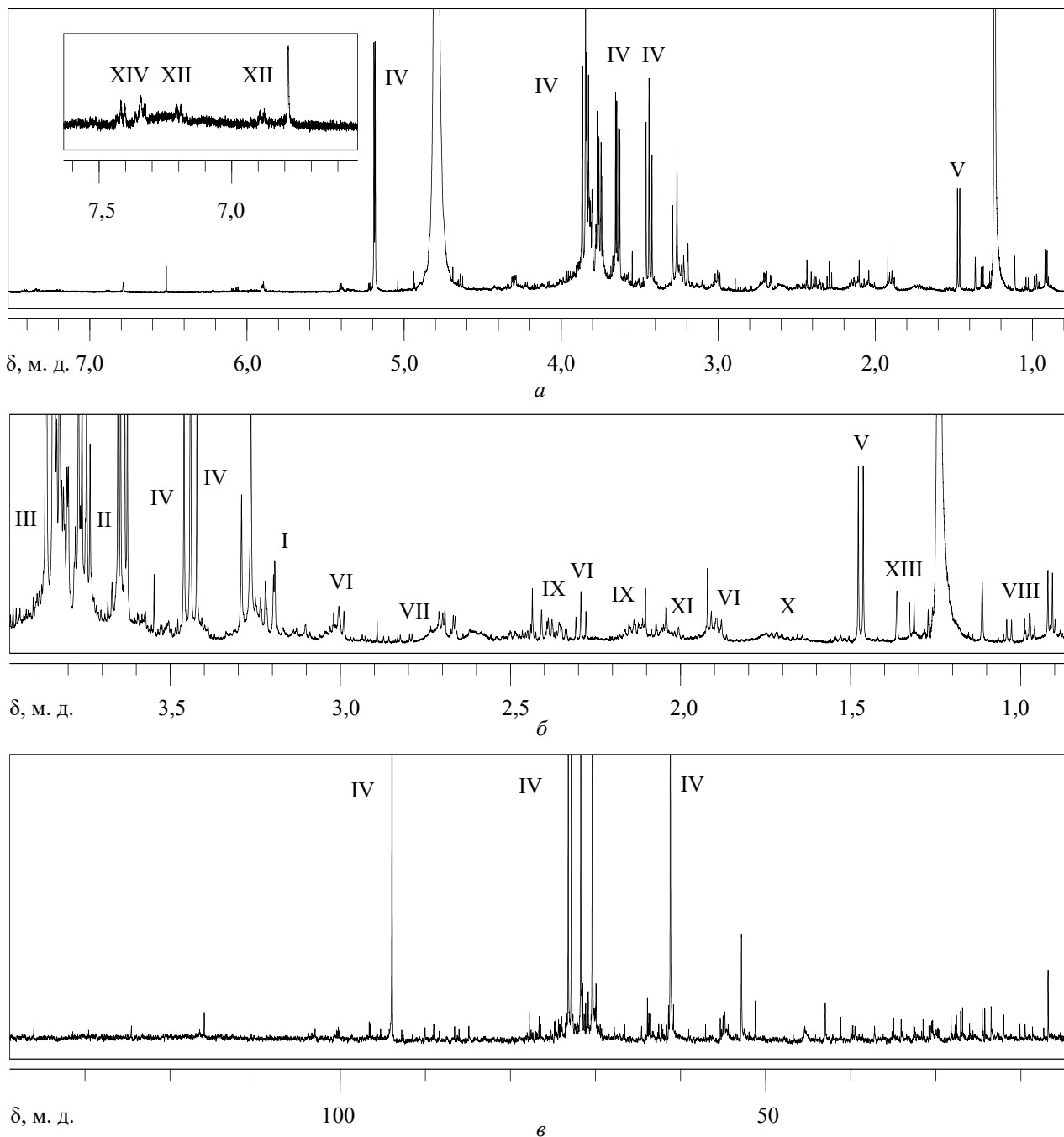


Рис. 1. Спектры ЯМР D₂O-экстракта сухих белых грибов:
 а – ¹H; б – фрагмент спектра ¹H; в – ¹³C

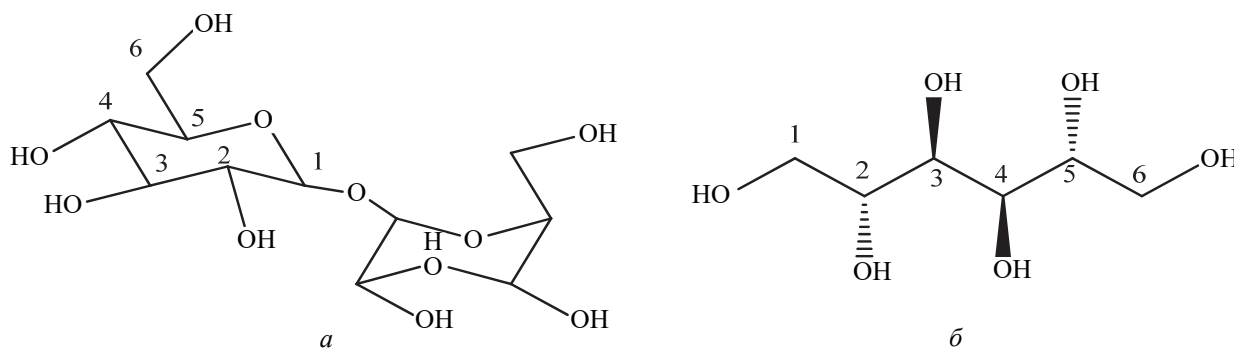


Рис. 2. Структурные формулы трегалозы (а) и маннита (б) с нумерацией углеродных атомов

Главными компонентами ЯМР-спектров CDCl_3 -раствора гексанового экстракта являются триацилглицериды. Однако наличие в спектрах множества других сигналов сделало невозможным осуществить в данном случае корректный анализ жирнокислотного состава экстрактов.

На рис. 3 приведены спектры ЯМР прямого CDCl_3 -экстракта белых грибов. Отнесение химических сдвигов дано в работе [10]. Спектры демонстрируют, что экстракт практически полностью состоит из триацилглицеридов жирных кислот.

Оценка интегральных интенсивностей групп линий, принадлежащих соответствующим кислотам, показала, что в растворе присутствуют эфиры глицерина линолевой (28,5%), олеиновой (51,6%) и насыщенных жирных кислот (10,9%), что хорошо согласуется с данными ГЖХ.

Таким образом, в белых грибах, собранных в Беларуси, в триацилглицеридах преобладала олеиновая кислота, а в образцах из Хорватии [6] и Польши [7] – линолевая, хотя в районе, близком к Республике Беларусь, также главной была олеиновая кислота.

В отличие от ГЖХ метод ЯМР позволяет оценить преимущественное расположение ненасыщенных жирных кислот в структуре молекул

триацилглицеридов, обусловленное различием химических сдвигов олефиновых атомов углерода в зависимости от расположения кислотного остатка в молекуле: при концевых (CH_2 -) группах глицерина или по центру (CH -). При статистическом распределении кислот отношение интегральных интенсивностей С-сигналов олефиновой связи должно быть 2 : 1.

На рис. 4 показан фрагмент ^{13}C ЯМР-спектра CDCl_3 -экстракта в области двойных связей. К олеиновой кислоте относятся сигналы с химическими сдвигами (δ , м. д.): 130,370; 130,397; 130,702 и 130,715, а к линолевой – восемь сигналов: 128,571; 128,582; 128,752; 128,768; 130,672; 130,702; 130,915 и 130,920. Отношение интенсивностей для линий, принадлежащих одному из олефиновых атомов углерода, соответственно равно: для олеиновой кислоты – 1,8 : 1; линолевой – 1,5 : 1. Следовательно, для олеиновой кислоты наблюдается практически стехиометрическое распределение в молекуле триацилглицерида с небольшим преобладанием в центре. Линолевая кислота преимущественно присоединяется к кислороду метиновой группы глицерина. Из этого следует, что насыщенные кислоты предпочитают концевые группы глицерина.

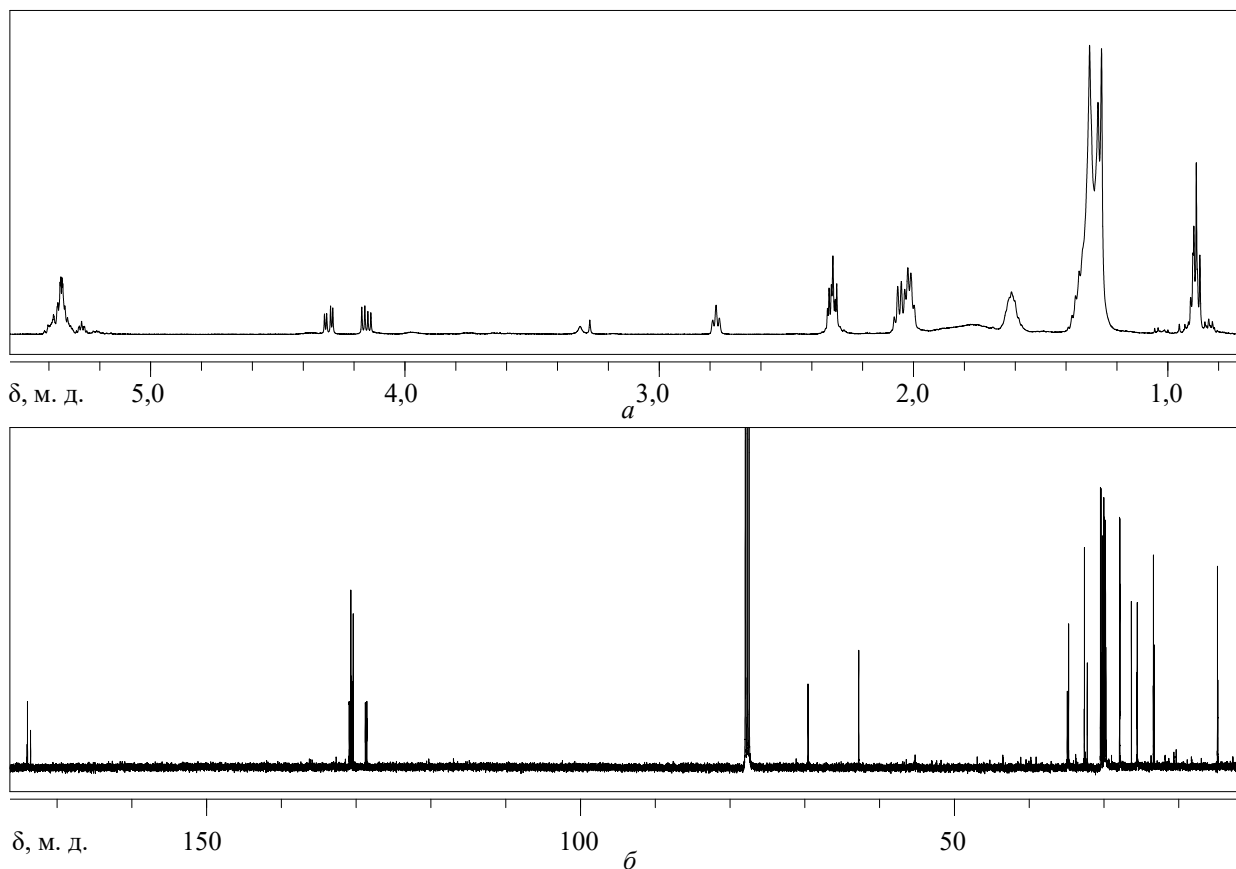


Рис. 3. Спектры ЯМР CDCl_3 -экстракта сухих белых грибов:
 a – ^1H ; b – ^{13}C

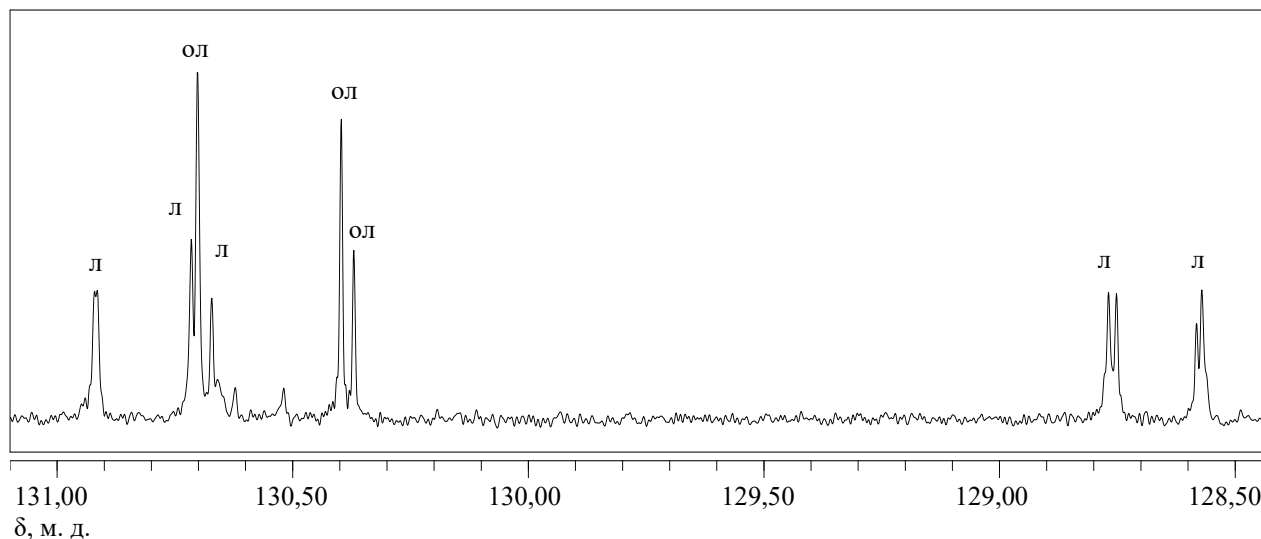


Рис. 4. ¹³C ЯМР-спектр CDCl₃-экстракта сухих белых грибов в области двойных связей (ол – олеиновая кислота, л – линолевая кислота)

Заключение. Из проведенных исследований можно сделать вывод, что главными компонентами водных-d₂ экстрактов плодовых тел белых грибов являются 4 углевода с преимущественным содержанием трегалозы и глюкозы и 10 аминокислот. Среди аминокислот преобладают аланин, γ-аминомасляная кислота и глутамин. ЯМР-анализ хлороформных-d экстрактов показал наличие в растворе практически только триацилглицеридов с основными

жирными кислотами в составе: пальмитиновой, стеариновой, олеиновой и линолевой. Результаты ГЖХ- и ЯМР-исследований хорошо коррелировали между собой. Установлено, что олеиновая и линолевая кислоты предпочитают центральное положение в молекуле глицерина, а насыщенные – боковые. Показано, что плодовые тела белых грибов обладают не только пищевой ценностью, но и полезны с фармацевтической точки зрения.

Список литературы

1. Васильков Б. П. Белый гриб. Опыт монографии одного вида. М.; Л.: Наука, 1966. 132 с.
2. Chemical analysis and antioxidant activity in vitro of polysaccharides extracted from *Boletus edulis* / A. Zhang [et al.] // *Int. J. Biol. Macromol.* 2011. Vol. 49. P. 1092–1095.
3. Structural investigation of a novel heteropolysaccharide from the fruiting bodies of *Boletus edulis* / A. Zhang [et al.] // *Food Chemistry.* 2014. No. 146. P. 334–338.
4. Жук Ю. Т. Консервирование и хранение грибов (биологические основы). М.: Легкая и пищевая пром-сть, 1982. 144 с.
5. Debitsky V. M., Terent'ev A. O., Levitsky D. O. Amino and Fatty Acids of Wild Edible Mushrooms of the Genus *Boletus* // *Rec. Nat. Prod.* 2010. Vol. 4, no. 4. P. 218–223.
6. Extraction of Fatty Acids from *Boletus edulis* by Subcritical and Supercritical Carbon Dioxide / S. Vidovic [et al.] // *J. Am. Oil Chem. Soc.* 2011. Vol. 88. P. 1189–1196.
7. Pietrzak-Fiecko R., Galgowska M., Bakua S. Fatty acid composition in wild *Boletus edulis* from Poland // *Ital. J. Food Sci.* 2016. Vol. 28, no. 3. P. 402–411.
8. ЯМР-спектроскопия в исследовании водных экстрактов травы пажитника греческого (*Trigonella foenum graecum* L.) / Е. Д. Скаковский [и др.] // *Журнал прикладной спектроскопии.* 2014. Т. 81, № 4. С. 542–546.
9. Анализ экстрактов лимона методом ЯМР / Е. Д. Скаковский [и др.] // *Труды БГТУ. Сер. 2, Химические технологии, биотехнологии, геоэкология.* 2018. № 1. С. 17–25.
10. Исследование методом ЯМР распределения жирных кислот в глицеридах растительных масел / О. А. Гайдукевич [и др.] // *Труды БГТУ. Сер. IV, Химия, технология органических веществ и биотехнология.* 2009. Вып. XVII. С. 188–191.
11. Complete ¹H and ¹³C NMR chemical shift assignments of mono- to tetrasaccharides as basis for NMR chemical shift predictions of oligosaccharides using the computer program CASPER / J. Rönnols [et al.] // *Carbohydrate Research.* 2013. Vol. 380. P. 156–166.
12. Предварительная оценка состава сока яблок с использованием метода ядерного магнитного резонанса / Е. Д. Скаковский [и др.] // *Плодоводство.* 2013. Т. 25. С. 469–480.

References

1. Vasilkov B. P. *Belyy grib. Opyt monografii odnogo vida* [White mushroom. Experience of one kind of monograph]. Moscow; Leningrad, Nauka Publ., 1966. 132 p. (In Russian).
2. Zhang A., Xiao N., He P., Sim P. Chemical analysis and antioxidant activity in vitro of polysaccharides extracted from *Boletus edulis*. *Int. J. Biol. Macromol.*, 2011, vol. 49, pp. 1092–1095.
3. Zhang A., Liu Ye., Xiao N., Zhang Ya., Sun P. Structural investigation of a novel heteropolysaccharide from the fruiting bodies of *Boletus edulis*. *Food Chemistry*, 2014, no. 146, pp. 334–338.
4. Zhuk Yu. T. *Konservirovaniye i khraneniye gribov (biologicheskoye osnovy)* [Mushroom preservation and storage (biological basis)]. Moscow, Legkaya i pishchevaya promyshlennost' Publ., 1982. 144 p. (In Russian).
5. Debitsky V. M., Terent'ev A. O., Levitsky D. O. Amino and Fatty Acids of Wild Edible Mushrooms of the Genus *Boletus*. *Rec. Nat. Prod.*, 2010, vol. 4, no. 4, pp. 218–223.
6. Vidovic S., Mujic I., Zekovic Z., Lepojevic Z., Milosevic S., Jokic S. Extraction of Fatty Acids from *Boletus edulis* by Subcritical and Supercritical Carbon Dioxide. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 2011, vol. 88, pp. 1189–1196.
7. Pietrzak-Fiecko R., Galgowska M., Bakua S. Fatty acid composition in wild *Boletus edulis* from Poland. *Ital. J. Food Sci.*, 2016, vol. 28, no. 3, pp. 402–411.
8. Skakovskii E. D., Tychinskaya L. Yu., Matveichuk S. V., Karankevich E. G., Agabalaeva E. D., Reshetnikov V. N. NMR spectroscopy in the study of aqueous extracts of the herb fenugreek (*Trigonella foenum graecum* L.). *Zhurnal prikladnoy spektroskopii* [Journal of Applied Spectroscopy], 2014, vol. 81, no. 4, pp. 542–546 (In Russian).
9. Skakovskii E. D., Latyshevich D. N., Tychinskaya L. Yu., Lamotkin S. A. Analysis of lemon extracts by NMR. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series 2, Chemical Engineering, Biotechnologies, Geocology, 2018, no. 1, pp. 17–25 (In Russian).
10. Gaidukevich O. A., Skakovskii E. D., Tychinskaya L. Yu., Lamotkin S. A. NMR study of the distribution of fatty acids in glycerides of vegetable oils. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series IV, Chemistry, Organic Substances Technology and Biotechnology, 2009, issue XVII, pp. 188–191 (In Russian).
11. Rönnols J., Pendrill R., Fontana C., Hamark Ch., Angles d'Ortoli Th., Engström O., Ståhle J., Zaccheus M. V., Säwén E., Hahn L. E., Iqbal Sh., Widmalm G. Complete ^1H and ^{13}C NMR chemical shift assignments of mono- to tetrasaccharides as basis for NMR chemical shift predictions of oligosaccharides using the computer program CASPER. *Carbohydrate Research*, 2013, vol. 380, pp. 156–166.
12. Skakovskii E. D., Tychinskaya L. Yu., Molchanova O. A., Kolechkina A. I., Kucharchik N. V., Kapichnikova N. G. Preliminary assessment of the composition of apple juice using the nuclear magnetic resonance method. *Plodovodstvo* [Fruit-growing], 2013, vol. 25, pp. 469–480 (In Russian).

Информация об авторах

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

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

Шаченкова Лариса Николаевна – кандидат химических наук, старший научный сотрудник лаборатории ионного обмена и сорбции. Институт физико-органической химии Национальной академии наук Беларуси (220072, г. Минск, ул. Сурганова, 13, Республика Беларусь). E-mail: sln13102005@mail.ru

Латышевич Дарья Николаевна – младший научный сотрудник лаборатории физико-химических методов исследования. Институт физико-органической химии Национальной академии наук Беларуси (220072, г. Минск, ул. Сурганова, 13, Республика Беларусь). E-mail: dashalatyshovich@yandex.ru

Богушевич Светлана Евгеньевна – кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории физико-химических методов исследования. Институт биоорганической химии Национальной академии наук Беларуси (220141, г. Минск, ул. Академика Купровича, 5, корп. 2, Республика Беларусь). E-mail: bse@iboch.by

Ламоткин Сергей Александрович – кандидат химических наук, доцент, заведующий кафедрой физико-химических методов и обеспечения качества. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: jossby@rambler.ru

Information about the authors

Skakovskii Evgeniy Dominikovich – PhD (Chemistry), Leading Researcher, the Laboratory of Physical-Chemical Methods of Research. Institute of Physical and Organic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus (13, Surganova str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: sed@ifoch.bas-net.by

Tychinskaya Lyudmila Yul'yevna – PhD (Chemistry), Head of the Laboratory of Physical-Chemical Methods of Research. Institute of Physical and Organic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus (13, Surganova str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: sed@ifoch.bas-net.by

Shachenkova Larisa Nikolaevna – PhD (Chemistry), Senior Researcher, the Laboratory of Ion Exchange and Sorption. Institute of Physical and Organic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus (13, Surganova str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: sln13102005@mail.ru

Latyshevich Dar'ya Nikolaevna – Junior Researcher, the Laboratory of Physical-Chemical Methods of Research. Institute of Physical and Organic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus (13, Surganova str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: dashalatyshevich@yandex.ru

Bogushevich Svetlana Evgen'yevna – PhD (Chemistry), Leading Researcher, the Laboratory of Physical-Chemical Methods of Research. Institute of Bioorganic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus (5, building 2, Akademika Kuprevicha str., 220141, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: bse@iboch.by

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

Поступила 27.10.2022