

ОРИГИНАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Научная статья
УДК 615.322
doi: 10.48612/agmu/2022.3.4.38.48

3.4.1. Промышленная фармация и
технология получения лекарств
(фармацевтические науки)

СПЕКТРОСКОПИЯ ЯДЕРНОГО МАГНИТНОГО РЕЗОНАНСА КАК СПОСОБ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

*Алексей Александрович Прокопов¹, Ольга Владимировна Нестерова²

¹Московский государственный медико-стоматологический университет им. А.И. Евдокимова, Москва, Россия

²Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова (Сеченовский университет), Москва, Россия

Аннотация. Исследование посвящено изучению возможности применения спектроскопии ядерного магнитного резонанса для идентификации растительного сырья на примере золотарника канадского и борщевика Сосновского. Анализ полученных результатов показал, что высокая информативность спектров ядерного магнитного резонанса ¹³C водно-спиртовых экстрактов позволяет использовать наборы химических сдвигов для паспортной идентификации лекарственных форм на основе упомянутого растительного сырья.

Ключевые слова: ядерный магнитный резонанс, растительное сырье, золотарник канадский, борщевик Сосновского, паспортная идентификация

Для цитирования: Прокопов А. А., Нестерова О. В. Спектроскопия ядерного магнитного резонанса как способ характеристики растительного сырья // Прикаспийский вестник медицины и фармации. 2022. Т. 3, № 4. С. 38–48. doi: 10.48612/agmu/2022.3.4.38.48.

ORIGINAL INVESTIGATIONS

Original article

NUCLEAR MAGNETIC RESONANCE SPECTROSCOPY AS A METHOD OF CHARACTERIZATION OF PLANT RAW MATERIALS

Alexey A. Prokopov¹, Olga V. Nesterova²

¹Moscow state university of Medicine and Dentistry named after A.I. Evdokimov, Moscow, Russia

²Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education I.M. Sechenov First Moscow State (Sechenovskiy University), Moscow, Russia

Abstract. The exploration is devoted to the study of the possibility of using nuclear magnetic resonance spectroscopy to identify plant raw materials on the example of *Solidago Canadensis* and *Heracléum Sosnóvskyi*. The analysis of the obtained results showed that the high information content of the ¹³C nuclear magnetic resonance spectra of water-alcohol extracts allows the use of sets of chemical shifts for passport identification of dosage forms based on the mentioned plant raw materials.

Key words: nuclear magnetic resonance, plant raw materials, *Solidago Canadensis*, *Heracléum Sosnóvskyi*, passport identification.

For citation: Prokopov A. A., Nesterova O. V. Nuclear magnetic resonance spectroscopy as a method of characterization of plant raw materials. Caspian Journal of Medicine and Pharmacy. 2022; 3 (4): 38–48. doi: 10.48612/agmu/2022.3.4.38.48 (In Russ.).

* © Прокопов А.А., Нестерова О.В., 2022

Введение. В арсенале современных лекарственных средств препараты, получаемые из растительного сырья, представляют собой группу особо ценных фармакологических объектов. Несмотря на безусловные достижения биоорганической химии, потребность практического здравоохранения, фармацевтической промышленности в производстве лекарств из растительного сырья растет особенно быстро по многим причинам. Во-первых, как естественная составная часть парадигмы лекарственного воздействия, во-вторых, в силу обоснованного смещения акцента от синтетических препаратов (важность которых никто не подвергает сомнению) в сторону средств природного происхождения, в-третьих, этого требует устойчивый вектор импортозамещения на территории нашего лекарственного рынка и т.д. Есть еще одно важное обстоятельство: комплекс веществ, содержащихся в растении, часто действует несколько иначе, чем выделенное из него индивидуальное химически чистое вещество. Несомненно, что лечебное действие растительных препаратов реализуется именно за счет комплекса биологически активных веществ, усиливающих, ослабляющих или даже видоизменяющих действие главных акторов. Вслед за возрастающим интересом к лекарственным средствам на растительной основе естественным образом повышаются требования к их стандартизации – идентификации, определению количества биологически активных веществ в фитопрепарате, к методам контроля качества.

Как известно, сложность работы с лекарственными растениями состоит в невозможности индивидуальной идентификации сырья в связи с затрудненностью количественной оценки каждого его компонента как из-за бесконечно разнообразного спектра химических структур, так и понятного отсутствия стандартных образцов. Оценка качества и подлинности сырья по единичным компонентам имеет еще и тот недостаток, что при этом из поля зрения исчезает шлейф соединений, сопутствующих основным объектам внимания, но, как правило, драматически влияющих на их эффективность [1].

В таком контексте оправдано внимание к двум дикорастущим растениям, широко распространенным по территории России: золотарнику канадскому (ЗК, *Solidago Canadensis*) и борщевнику Сосновского (БС, *Heracléum Sosnowskyi*). Различные виды золотарника, в том числе и ЗК, являются официальными растениями, они входят в Европейскую, Британскую и Бразильскую фармакопеи [2, 3, 4], имеются зарегистрированные препараты на основе ЗК (Простанорм, Урофлукс, Марелин, Цистиум солидаго, Фитолизин) [5].

БС с давних пор использовала народная медицина в виде лекарственных отваров и настоек [6], но в официальную медицину это растение пока не вошло. Показано, что доминантные биологически активные вещества в составе БС по химической структуре относятся к разнообразным кумаринам и фурукумаринам (Фуранокумарины (фурукумарины) – класс кислородсодержащих гетероциклических соединений в которых фурановый цикл конденсирован с бензольным циклом кумаринового ядра линейно (производные псоралена) или ангулярно (производные ангелицина и аллопсоралена)) (ксантотоксин, бергаптен, ангелицин, сфондин) [7, 8]. Для них установлено фотосенсибилизирующее действие, они стимулируют рост волос, восстанавливают пигментацию кожи и волос, их биологическая активность используется для лечения витилиго, гнездовой плешивости, псориаза, микозов. Присутствием в БС оксикумаринов объясняют антикоагулянтный, Р-витаминный, капилляроукрепляющий и тонизирующий эффекты. В принципе сырье на основе БС может также использоваться для производства препаратов, направленных на профилактику и лечение тромбофлебитов, тромбозов, геморроя, тромбоэмболии. Безусловным плюсом для возможной заготовки является то, что БС – крайне неприхотливое растение, устойчивое к погодным условиям и по своей способности к саморазмножению отнесено к категории сорных и даже агрессивных [9]. Несмотря на то, что работа с БС требует соблюдения вполне определенных мер предосторожности, богатый и разнообразный химический состав этого растения позволяет утверждать, что перспектива практического применения в лечебной практике лекарственных средств на основе этого вида растительного сырья вполне вероятна [10]. Несмотря на то, что на сегодняшний день в РФ отсутствует нормативная документация на сырье борщевика, имеются исследования [11], предвещающие использование сырья на основе БС в фармацевтической промышленности и разработку стандартов, определяющих его качество.

В числе приоритетных направлений развития аналитической химии обозначен «безэталонный метод оценки качества» или «фингерпринт» – метод распознавания общего спектроскопического образа объекта, успешно используемый в ряде стран для идентификации растительного сырья и препаратов на его основе. Любое растительное сырье, независимо от его происхождения, содержит обширный спектр веществ, относящихся к совершенно различным как по структуре, так и по составу, классам соединений, полная дифференциация которых представляет собой, как правило, исключительно

трудную задачу. Но поскольку в этом нет необходимости при рутинной идентификации сырья и оценке его качества, обзорные спектры в таких случаях, являясь вполне индивидуальными, могут являться основанием для экспертного заключения о пригодности растительного объекта для дальнейшего использования в медицинской практике.

Спектроскопия ядерного магнитного резонанса (ЯМР) давно зарекомендовала себя в качестве надежного аналитического инструмента, по всем критериям отвечающего современным требованиям фармацевтической науки [12, 13, 14]. Подтверждением этого является то обстоятельство, что действующая Фармакопея допускает [15] использование одномерных спектров ЯМР целиком, как «отпечатков пальца» объекта, без детализации значений химических сдвигов δ и мультиплетности отдельных сигналов.

^1H ЯМР-спектры объектов органического происхождения, как правило, представляют собой довольно сложную картину, поскольку включают в себя сигналы протонов множества разнородных соединений. Поэтому для исследования природных объектов широко используется ЯМР ^{13}C -спектроскопия, поскольку она позволяет получать непосредственную информацию об углеродной структуре органических молекул, которые обычно являются носителями биологической активности. Имеются и другие преимущества спектроскопии ^{13}C ЯМР, подробно описанные в специальной литературе [16, 17].

Цель: разработать подходы к спектроскопическому профилированию экстрактов золотарника канадского и борщевика Сосновского методом ЯМР ^{13}C с целью использования в дальнейшем полученной информации для идентификации сырья, оценки его качества, а также для уточнения номенклатуры органических веществ, входящих в состав данных лекарственных растений.

Материалы и методы исследования. Материалами для исследования послужили трава ЗК и листья БС собранные в Московской области в 2020 году и идентифицированные кафедрой фармацевтического естествознания Первого МГМУ им. И.М. Сеченова. Сырье подвергалось естественной сушке с хорошей вентиляцией до воздушно-сухого состояния. Показатель «Потеря в массе при высушивании» был получен по методике, отраженной в ОФС 1.2.1.0010.15. Для анализа были приготовлены водные и водно-спиртовые извлечения сырья по методикам, рекомендованным Государственной фармакопеей РФ XIV издания.

Нами осуществлена запись спектров высокого разрешения магнитного резонанса ядер изотопа углерода-13 образцов водных и водно-спиртовых (70%) извлечений изучаемого сырья. Спектры ЯМР $^{13}\text{C}[^1\text{H}]$ высокого разрешения с широкополосным подавлением протонов (^1H) записаны при комнатной температуре (298К) по стандартной одноимпульсной программе [16] на спектрометре AVANCE-300 (Bruker, Германия) со сверхпроводящим магнитом.

Накопление сигналов ЯМР ^{13}C осуществлялось в режиме широкополосного протонного (^1H) облучения, в результате чего в спектрах С-13 растворов экстрактов не проявляются мультиплеты из-за скалярных спин-спиновых ^{13}C - ^1H взаимодействий, что существенно упрощает спектры С-13 для идентификации сигналов. Однородность магнитного поля настраивалась по сигналу дейтерия образца тяжелой воды D_2O , как внешнего стандарта. Все химические сдвиги С-13 образцов экстрактов приведены относительно сигнала тетраметилсилана $\text{Si}(\text{CH}_3)_4$ в миллионных долях (м.д. или ppm) [16, 17].

Результаты исследования и их обсуждение. На рис. 1 и 2 приведены спектры ЯМР ^{13}C с широкополосным подавлением протонов для водного и водно-спиртового экстрактов БС соответственно. Спектры С-13 представляют собой наборы сигналов, состоящие из 30-40 линий с индивидуальными пиковыми интенсивностями и химическими сдвигами. Значения химических сдвигов (ppm) сигналов С-13 приведены в верхней части спектров. Набор сигналов в спектрах ЯМР $^{13}\text{C}[^1\text{H}]$ экстрактов характеризует индивидуальность извлеченного семейства органических молекул в зависимости от типа растворителя. Сравнительный анализ спектров ЯМР ^{13}C с широкополосным подавлением протонов водного и водно-спиртового экстрактов БС, приведенных на рис. 3, показывает, что лишь небольшая часть сигналов в этих спектрах совпадает по значениям химических сдвигов. Тогда как основная часть сигналов в спектрах имеет свои индивидуальные значения химических сдвигов и пиковых интенсивностей в зависимости от использованного экстрагента. Иначе говоря, основная часть состава химических молекул водного раствора экстракта БС существенно отличается от состава химических молекул водно-спиртового экстракта БС.

Водный и водно-спиртовой экстракты БС содержат в своем составе целый спектр разнообразных представителей кумаринов и фурукумаринов, о чем свидетельствует отнесение химических сдвигов сигналов спектров ЯМР [16, 17] и что, в свою очередь, адекватно данным литературы [6, 7, 8, 9, 10, 18] и соответствующим компьютерным программам [19].

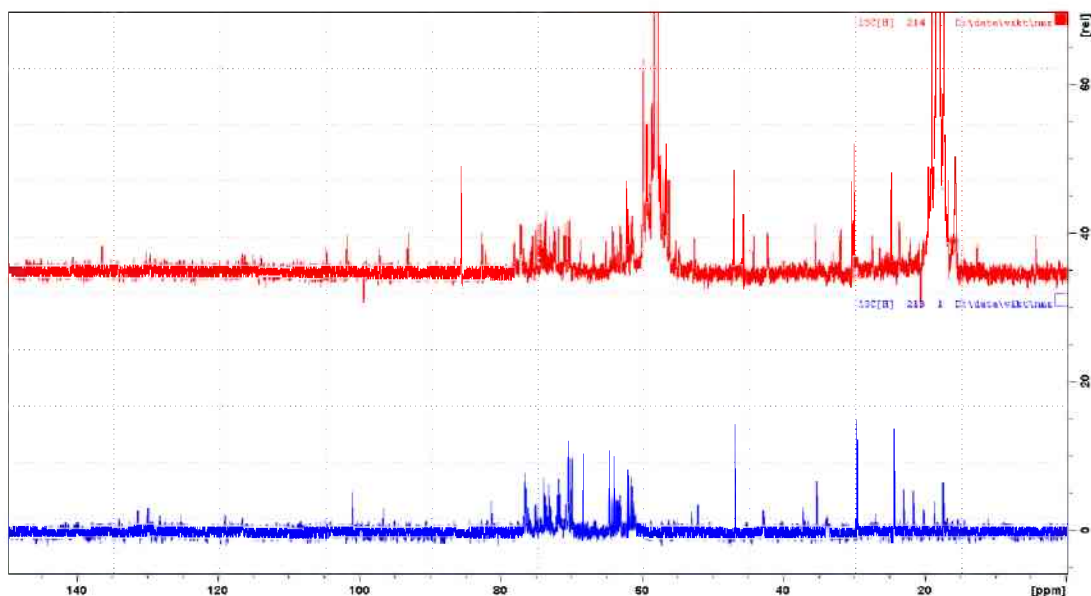


Рис. 3. Обзорные спектры ЯМР ^{13}C с широкополосным подавлением протонов водного экстракта БС (нижний спектр) и водно-спиртового (70 %) экстракта БС (верхний спектр)
Fig. 3. Panoramic ^{13}C NMR spectra with broadband proton suppression of an aqueous extract of BS (lower spectrum) and a hydroalcoholic (70 %) extract of BS (upper spectrum)

На рис. 4 приведены обзорные спектры ЯМР ^{13}C с широкополосным подавлением протонов водного и водно-спиртового экстрактов золотарника. Спектр водно-спиртового экстракта (около 60 сигналов) существенно отличается от спектра водного экстракта (порядка 45 сигналов), при этом сигналы в спектрах, как правило, не совпадают по значениям химических сдвигов, т.е. проанализированные экстракты различны по своему составу. Более детально различия видны при сопоставлении фрагментов растянутых спектров, которые представлены на рис. 5.

Принимая во внимание, что использованные нами экстрагенты обладают неодинаковой полярностью, они по-разному извлекают вещества из растительного сырья. Вода, являясь неорганическим растворителем, не способна растворить в достаточной степени органические вещества липофильного характера, но в то же время извлекает балластные вещества и проявляет нежелательную гидролитическую активность. Таким образом, для получения оптимальных комплексов биологически активных веществ из растительного сырья на основе золотарника канадского и борщевика Сосновского в качестве экстрагента следует использовать водно-спиртовую смесь.

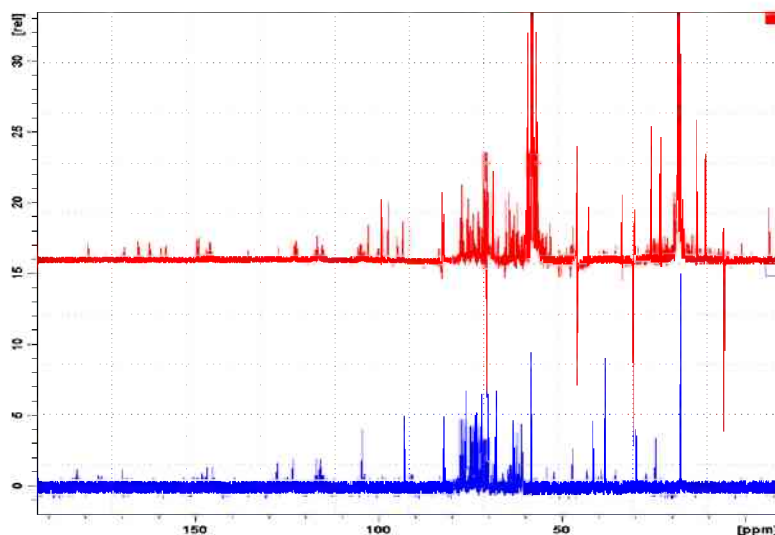


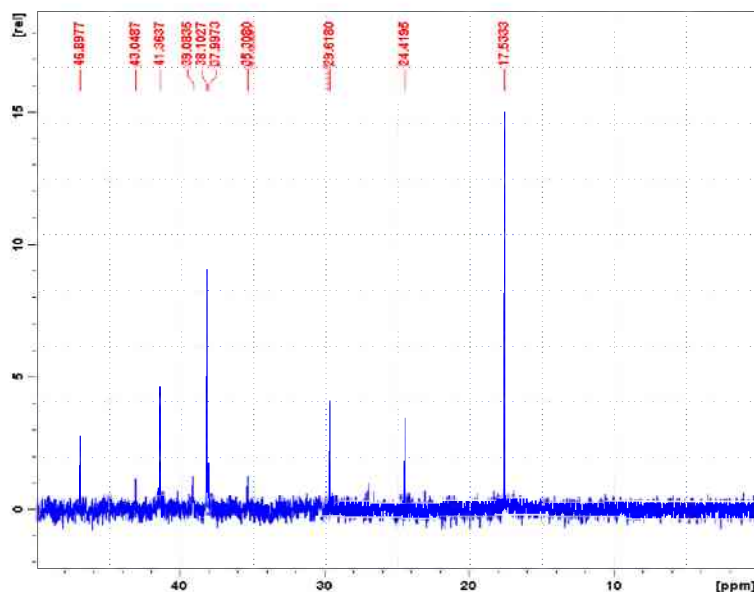
Рис. 4. Обзорные спектры ЯМР ^{13}C с широкополосным подавлением протонов - 1) водный экстракт ЗК (нижний спектр), 2) водно-спиртовой экстракт ЗК (верхний спектр).
Fig. 4. Survey ^{13}C NMR spectra with broadband proton suppression - 1) aqueous extract of SC (lower spectrum), 2) hydroalcoholic extract of SC (upper spectrum)

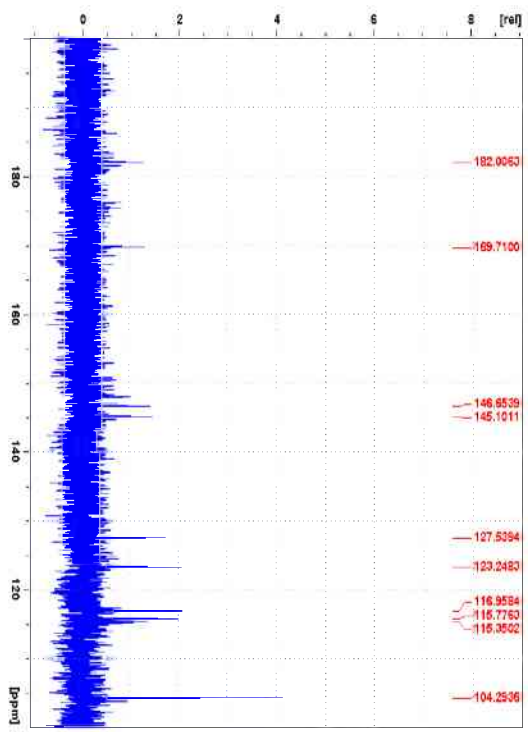
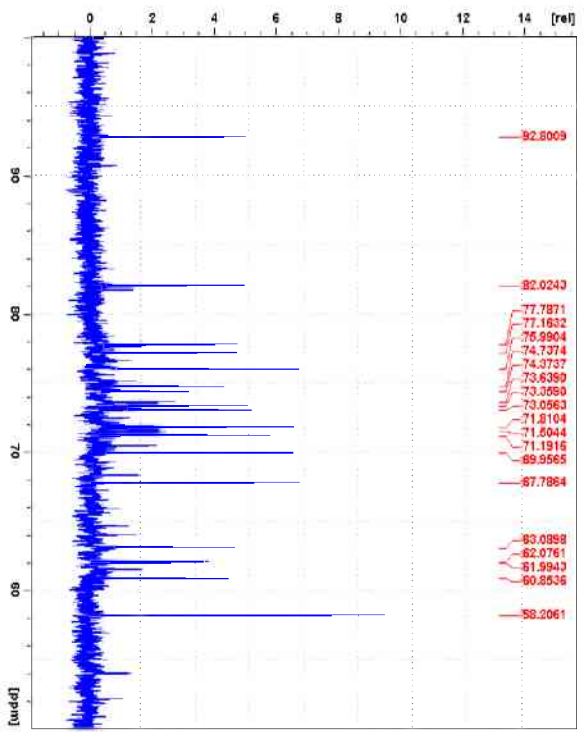
Химические сдвиги сигналов спектров ЯМР водного и водно-спиртового экстрактов золотарника, соотнесенные с фундаментальными данными [16, 17], соответствуют литературным данным [20-22] о присутствии полифенолов, карбоновых кислот, сапонинов тритерпенового ряда, разнообразных ароматических структур.

Таким образом, очевидная более высокая информативность спектров ЯМР ^{13}C водно-спиртовых экстрактов позволяет рекомендовать использовать для паспортной идентификации сырья и лекарственных форм на основе ЗК и БС набор химических сдвигов С-13.

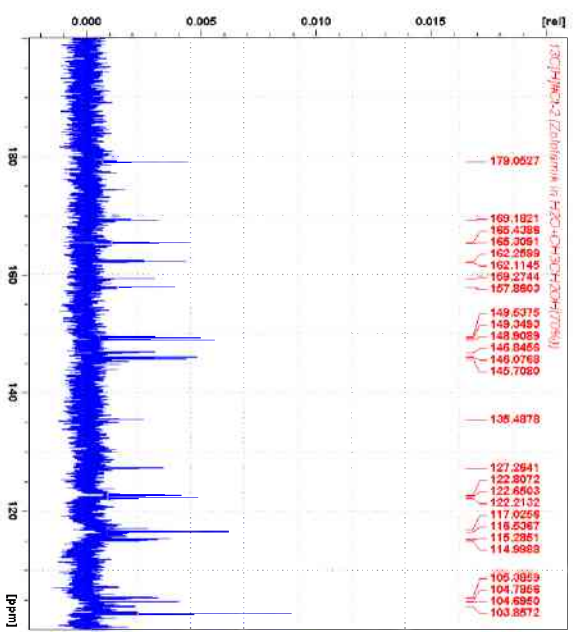
В то же время разнообразие уже известных видов биологической активности золотарника и борщевика все еще не соответствует имеющейся информации об их химическом составе. В этой связи на следующем этапе нашей работы мы предполагаем изучить спектры ЯМР экстрактов ЗК и БС на ядрах изотопа ^{31}P .

А





B



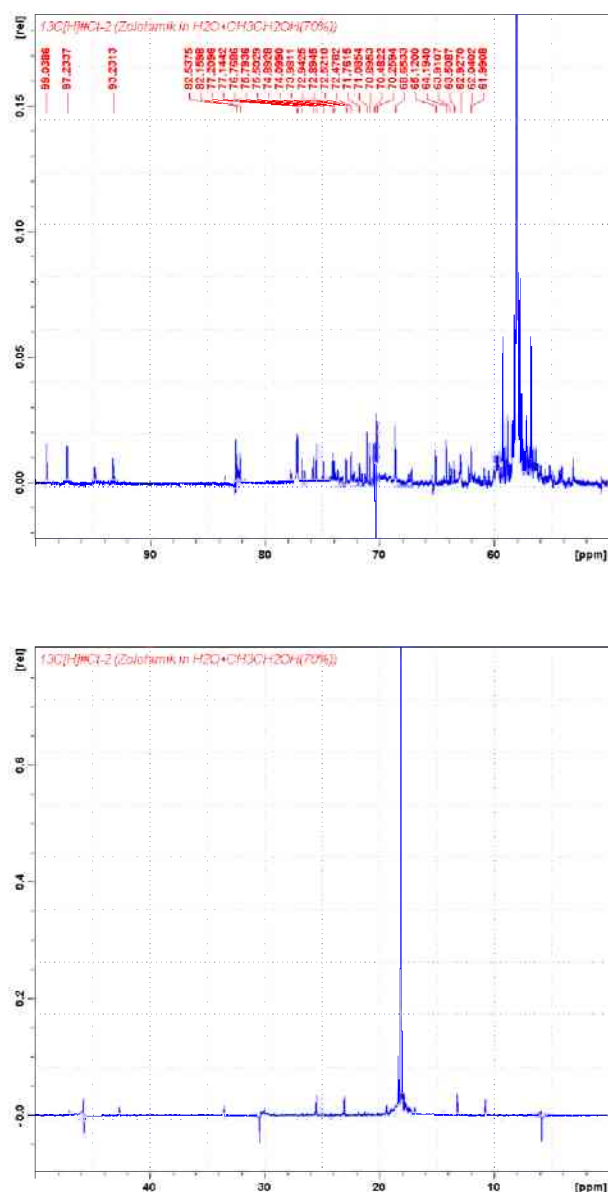


Рис. 5. Растянутые спектры ЯМР ^{13}C с широкополосным подавлением протонов экстрактов ЗК: А – водный, Б – водно-спиртовой. Отнесение диапазонов I, II и III в тексте
 Fig. 5. Stretched ^{13}C NMR spectra with broadband proton suppression of SC extracts: A – water, B – hydroalcoholic. Assignment of ranges I, II and III in the text

Заключение. Экспериментально подтверждено, что спектры ЯМР ^{13}C водно-спиртовых экстрактов золотарника канадского и борщевика Сосновского обладают высокой информативностью, что позволяет использовать набор химических сдвигов С-13 для паспортной идентификации сырья и лекарственных форм на его основе.

Раскрытие информации. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Disclosure. The authors declare that they have no competing interests.

Вклад авторов. Авторы декларируют соответствие своего авторства международным критериям ICMJE. Все авторы в равной степени участвовали в подготовке публикации: разработка концепции статьи, получение и анализ фактических данных, написание и редактирование текста статьи, проверка и утверждение текста статьи.

Authors' contribution. The authors declare the compliance of their authorship according to the international ICMJE criteria. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

Источник финансирования. Авторы декларируют отсутствие внешнего финансирования для проведения исследования и публикации статьи.

Funding source. The authors declare that there is no external funding for the exploration and analysis work.

Список источников

1. Павлова Л. В. Экстракционно-хроматографическое определение физиологически-активных компонентов цветов «ромашки аптечной» и листьев «эвкалипта прутовидного»: дис. ... канд. хим. наук. Самара, 2015. 176 с.
2. European Pharmacopoeia 6.0. Nordlingen. 2007–2011.
3. British Pharmacopoeia. London, 2009. Vol. 1.
4. Liz R., Vigil S. V. G., Goulart S., Moritz M. I. The anti-inflammatory modulatory role of *Solidago chinensis* Meyen in the murine model of the air pouch // *Pharm. Pharmacol.* 2008. Vol. 60, no 4. P. 515–542.
5. Сулейманова Ф. Ш., Нестерова О. В., Матюшин А. А. Исторический опыт и перспективы использования травы золотарника канадского (*Solidago canadensis* L. в медицине) // *Здоровье и образование в XXI веке.* 2017. Т.19, № 4. С. 142–149.
6. Черняк Д. М. Биологическая активность борщевика // *Тихоокеанский медицинский журнал.* 2013. № 2. С. 70–72.
7. Юрлова Л. Ю., Черняк Д. М., Кутвая О. П. Фурукумарины *Heracleum sosnowskyi* и *Heracleum moellendorffii* // *Тихоокеанский медицинский журнал.* 2013. № 2. С. 91–93.
8. Георгиевский В. П., Комиссаренко Н. Ф., Дмитрук С. Е. Биологически активные вещества лекарственных растений. «Наука» - Новосибирск. 1990. 336 с.
9. Антипина Г. С., Маганов И. А., Платонова Е. А., Фалин А. Ю. Борщевик Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden.) в Ботаническом саду ПетрГУ // *Hortus botanicus.* 2017. № 12. С. 345–351.
10. Ткаченко К. Г. Борщевики (род *Heracleum* L.): pro et contra // *Биосфера.* 2015. Т. 7, № 2. С. 209–216.
11. Иванова Т. А., Матвеева Т. Н., Чантурия В. А., Иванова Е. Н. Особенности состава многокомпонентных экстрактов борщевика и его влияние на флотационные свойства золотосодержащих сульфидов // *Обогащение полезных ископаемых.* 2015. № 4. С. 151–157.
12. Васильев В. Г. Контроль качества лекарственных средств и объектов растительного происхождения методом спектроскопии ЯМР ^1H без использования стандартных образцов: дис. ... канд. хим. наук. Москва, 2018. 177 с.
13. Нестерова О. В., Сулейманова Ф. Ш., Прокопов А. А., Привалов В. И. Предварительное изучение экстрактов золотарника методом ^{13}C ЯМР-спектроскопии // *Фармацевтический анализ и контроль качества лекарственных средств.* 2018. Т. 22, № 4. С. 9–13.
14. Моисеев С.В., Крылов В.И., Кузьмина Н.Е., Яшкир В.А., Меркулов В.А. Использование метода ЯМР-спектроскопии в фармакопейном анализе / *Ведомости Научного центра экспертизы средств медицинского применения.* 2016. № 2, С. 53–57.
15. Государственная фармакопея Российской Федерации XIV издания. ОФС.1.2.1.1.0007.15. «Спектроскопия ядерного магнитного резонанса». Том 1. М.: 2018. С. 784–795.
16. Воловенко Ю.М., Карцев В.Г., Комаров И.В., Туров А.В., Хиля В.П. Спектроскопия ядерного магнитного резонанса для химиков. МБФНП (ICSPF), М., 2011. 704 с.
17. Сильверстейн Р., Вебстер Ф., Кимл Д. Спектрометрическая идентификация органических соединений». БИНОМ. Лаборатория знаний, М., 2012. 557 с.
18. Luz Raphael F., Vieira Ivo J. C., Braz-Filho Raimundo, Moreira Vinicius F. ^{13}C -NMR Data from Coumarins from Moraceae Family // *American Journal of Analytical Chemistry.* 2015. no. 6. P. 851–866.
19. ACD/CNMR DB (v.6.12).
20. Федотова В. В., Челомбитько В. А. Виды рода золотарник (*Solidago*): значение для медицинской практики, перспективы изучения // *Научные ведомости БелГУ. Сер. Медицина. Фармация.* 2012. Т. 135, № 16, вып. 19. С. 136–145.
21. Apati P., Szentmihalyi K., Kristo Sz. T., Papp I., Vinkler P., Szoke E., Kery A. Herbal remedies of *Solidago* – correlation of phytochemical characteristics and antioxidative properties // *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis.* 2003. Vol. 32, no 4–5. P. 1045–1053.
22. Apati P., Szentmihalyi K., Balazs A., Baumann D., Hamburger M., Kristo T. Sz., Szoke E., Kery A. HPLC Analysis of the flavonoids in pharmaceutical preparations from Canadian goldenrod (*Solidago canadensis*) // *Chromatographia Supplement.* 2002. Vol. 56. P. 65–68.

References

1. Pavlova L. V. Extraction-chromatographic determination of physiologically active components of flowers of "chamomile pharmacy" and leaves of "eucalyptus prutovidnogo". Thesis of Candidate of Chemical Sciences. Samara; 2015, 176 p. (In Russ.).
2. European Pharmacopoeia 6.0 – Nordlingen. 2007–2011.
3. British Pharmacopoeia. London, 2009. Vol. 1.
4. Liz R., Vigil S. V. G., Goulart S., Moritz M. I. The anti-inflammatory modulatory role of *Solidago chinensis* Meyen in the murine model of the air pouch. *Pharm. Pharmacol.* 2008; 60 (4): 515–542. doi: 10.1211/jpp.60.4.0015.
5. Suleymanova F. Sh., Nesterova O. V., Matyushin A. A. Historical experience and prospects of using Canadian goldenrod grass (*Solidago canadensis* D. in medicine). *Zdorov'e i obrazovanie v XXI veke = Health and education in the XXI century.* 2017; 19 (4). 142–149. (In Russ.).
6. Chernyak D. M. Biological activity of *Heracleum*. *Tikhookeanskiy meditsinskiy zhurnal = Pacific Medical Journal.* 2013; 2: 70–72. (In Russ.).
7. Yurlova L. Yu., Chernyak D. M., Kutovaya O. P. Furocoumarins *Heracleum sosnowskyi* and *Heracleum moellendorffii*. *Tikhookeanskiy meditsinskiy zhurnal = Pacific Medical Journal.* 2013; 2: 91–93. (In Russ.).
8. Georgievskiy V. P., Komissarenko N. F., Dmitruk S. E. Biologically active substances of medicinal plants. Novosibirsk : «Nauka»; 1990, 336 p. (In Russ.).
9. Antipina G. S., Maganov I. A., Platonova E. A., Falin A. Yu. *Heracleum sosnowskyi* (*Heracleum sosnowskyi* Manden.) in the Botanical Garden of PetrsSU. *Hortus botanicus.* 2017; 12: 345–351. (In Russ.).
10. Tkachenko K. G. Hogweeds (genus *Heracleum* L): pro et contra. *Biosfera = Biosphere.* 2015; 7 (2): 209–216. (In Russ.).
11. Ivanova T. A., Matveeva T. N., Chanturiya V. A., Ivanova E. N. Features of the composition of multicomponent extracts of hogweed and its effect on the flotation properties of gold-containing sulfides. *Obogashchenie poleznykh iskopaemykh = Mineral enrichment.* 2015; 4: 151–157. (In Russ.).
12. Vasil'ev V. G. Quality control of medicinal products and objects of plant origin by ¹H NMR spectroscopy without the use of standard samples. Thesis of Candidate of Chemical Sciences. Moscow; 2018. 177 p. (In Russ.).
13. Nesterova O. V., Suleymanova F. Sh., Prokopov A. A., Privalov V. I. Preliminary study of goldenrod extracts by ¹³C NMR spectroscopy. *Farmatsevticheskiy analiz i kontrol' kachestva lekarstvennykh sredstv = Pharmaceutical analysis and quality control of medicines.* 2018; 22 (4): 9–13. (In Russ.).
14. Moiseev S. V., Krylov V. I., Kuzmina N. E., Yashkir V. A., Merkulov V. A. The use of NMR-spectroscopy in pharmacopoeial analysis. *The Bulletin of the Scientific Centre for Expert Evaluation of Medicinal Products.* 2016; 2 : 53–57. (In Russ.).
15. The State Pharmacopoeia of the Russian Federation XIV edition. OFS.1.2.1.1.0007.15. "Nuclear magnetic resonance spectroscopy". Moscow; 2018; Volume 1: 784–795. (In Russ.).
16. Volovenko Yu. M., Kartsev V. G., Komarov I. V., Turov A. V., Khilya V. P. Nuclear magnetic resonance spectroscopy for chemists. Moscow : MBFNP (ICSPF); 2011, 704 p. (In Russ.).
17. Sil'verstejn R., Vebster F., Kiml D. Спектротрическая идентификация органических соединений. Moscow : BINOM. Laboratory of Knowledge; 2012, 557 p. (In Russ.).
18. Luz Raphael F., Vieira Ivo J. C., Braz-Filho Raimundo, Moreira Vinicius F. ¹³C-NMR Data from Coumarins from Moraceae Family. *American Journal of Analytical Chemistry.* 2015; 6: 851–866. doi: 10.4236/ajac.2015.611081.
19. ACD/CNMR DB (v.6.12).
20. Fedotova V. V., Chelombit'ko V. A. Species of the genus goldenrod (*Solidago*): significance for medical practice, prospects for study. *Scientific bulletin of BelSU. Ser. Medicine. Pharmacy;* 2012: 135 (16), release19: 136–145. (In Russ.).
21. Apati P., Szentmihalyi K., Kristo Sz.T., Papp I., Vinkler P., Szoke E., Kery A. Herbal remedies of *Solidago* – correlation of phytochemical characteristics and antioxidative properties. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis.* 2003; 32 (4-5): 1045–1053. doi: 10.1016/s0731-7085(03)00207-3.
22. Apati P., Szentmihalyi K., Balazs A., Baumann D., Hamburger M., Kristo T. Sz., Szoke E., Kery A. HPLC Analysis of the flavonoids in pharmaceutical preparations from Canadian goldenrod (*Solidago canadensis*). *Chromatographia Supplement.* 2002; 56: 65–68. doi: 10.1007/BF02494115.

Информация об авторах

А.А. Прокопов, доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой общей и биоорганической химии, Московский государственный медико-стоматологический университет им. А.И. Евдокимова, Заслуженный работник здравоохранения РФ, ведущий научный сотрудник, Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН, действительный член Академии инженерных наук им. А.М. Прохорова, г. Москва, Россия. e-mail: pral@mail.ru.

O.V. Nesterova, доктор фармацевтических наук, профессор, заведующая кафедрой химии, Первый московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова, Заслуженный работник здравоохранения РФ, г. Москва, Россия. e-mail: nesterova_o_v@staff.sechenov.ru

Information about the authors

A.A. Prokopov, Dr. Sci. (Chem.), Professor, Head of the Department, Moscow State University of Medicine and Dentistry A.I. Evdokimova, Honored Worker of Healthcare of the Russian Federation, Leading Researcher, Institute of General and Inorganic Chemistry. N.S. Kurnakov RAS, full member of the Academy of Engineering Sciences. A.M. Prokhorov, Moscow, Russia. e-mail: pral@mail.ru

O.V. Nesterova, Dr. Sci. (Pharm.), Professor, Head of the Department of Chemistry, First Moscow State Medical University. THEM. Sechenov, Honored Health Worker of the Russian Federation, Moscow, Russia, e-mail: nesterova_o_v@staff.sechenov.ru.*

* Статья поступила в редакцию 15.07.2022; одобрена после рецензирования 24.11.2022; принята к публикации 07.12.2022.

The article was submitted 15.07.2022; approved after reviewing 24.11.2022; accepted for publication 07.12.2022