ИЗВЕСТИЯ ВУЗОВ. ПРИКЛАДНАЯ ХИМИЯ И БИОТЕХНОЛОГИЯ 2021 Том 11 N 2
PROCEEDINGS OF UNIVERSITIES. APPLIED CHEMISTRY AND BIOTECHNOLOGY 2021 Vol. 11 No. 2

Оригинальная статья / Original article
УДК 612.396.114:663:542
DOI: https://doi.org/10.21285/2227-2925-2021-11-2-281-289

Характеристика полисахаридов из корней *Eremurus hissaricus* методом ИК-Фурье спектроскопии

© А.И. Ашуров, А.С. Джонмуродов, С.Р. Усманова, Ш.Е. Холов, З.К. Мухидинов

Институт химии им В.И. Никитина НАН Таджикистана,
г. Душанбе, Республика Таджикистан

Резюме: *Структура и характеристика водорастворимых глюко- и галактоманнанов (GlcMan and GalMan), выделенных из корней нескольких родственных видов растения Eremurus*, были изучены ранее*. В этой работе дана характеристика полисахаридов и других продуктов экстракции из корнеклубней растения эремуруса гиссарского (Eremurus hissaricus) методом инфракрасной Фурье (ИК-Фурье) спектроскопии с помощью приставки нарушенного полного внутреннего отражения. Образцы полисахаридов были очищены от белковых веществ методом Севаджа, обесцвечены через полиамидную колонку. В ИК-Фурье спектрах основные пики, отнесенные к асимметричным и симметричным валентным колебаниям CH_2 пиранозного кольца (для GluMan – 2886, 1373, 1244 $см^{-1}$; для GalGluMan – 2923, 1370, 1238 $см^{-1}$), усиливаются при очистке после удаления связанных белковых примесей. При анализе спектров образца очищенного GalGluMan в изученных полисахаридах был использован пакет прикладных программ KnownitAll и IRPal 2. Обнаружено, что интенсивность максимума поглощения уменьшалась при 1732 $см^{-1}$, в то же время при 1552,92 $см^{-1}$ сформировалась новая полоса, относящаяся к валентным колебаниям карбоксильных (CO) или нитрозо- (NO) групп в очищенном полисахариде, она образовалась в результате реакции Майяра между белком и восстанавливающим концом полисахаридного звена. Интенсивность полос в области 1238–1244 $см^{-1}$ также уменьшилась в очищенных образцах, что, возможно, связано с отщеплением небольшой фракции белка. Показано, что применение ИК-Фурье спектроскопии помогло быстро и качественно охарактеризовать процесс очистки водорастворимого глюкоманнана (GluMan) и растворимого в кислоте полисахарида глюкогалактоманнана (GalGluMan) от примесей акриламида и позволило сравнительно оценить состояние функциональных групп у данных полисахаридов корнеклубней растения эремуруса гиссарского (E. hissaricus).*

Ключевые слова: *полисахариды, белки, глюкоманнан, галактоглюкоманнан, инфракрасная спектроскопия*

Для цитирования: Ашуров А.И., Джонмуродов А.С., Усманова С.Р., Холов Ш.Е., Мухидинов З.К. Характеристика полисахаридов из корней *Eremurus hissaricus* методом ИК-Фурье спектроскопии. *Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология.* 2021. Т. 11. N 2. С. 281–289. https://doi.org/10.21285/2227-2925-2021-11-2-281-289

Characterization of polysaccharides from *Eremurus hissaricus* roots by FTIR spectroscopy

Ashurboy I. Ashurov, Abduvali S. Dzhonmurodov, Surayo R. Usmanova, Shavkat E. Kholov, Zainiddin K. Muhidinov

V.I. Nikitin Institute of Chemistry, National Academy of Sciences of Tajikistan,
Dushanbe, Republic of Tajikistan

Abstract: *The structure of water-soluble gluco- and galactomannans (GlcMan and GalMan) isolated from the roots of several Eremurus-related plant species has been studied previously. This article characterizes polysaccharides and other extraction products from the root tubers of Eremurus hissaricus by Fourier-transform infrared (FTIR) spectroscopy using an attenuated total reflectance (ATR) accessory. Polysaccharide samples were purified from protein substances with the Sevage method and discoloured through a polyamide column. In the FTIR spectra, the main peaks attributed to asymmetric and symmetric stretching vibrations of CH_2 of the pyranose ring (for GluMan – 2886, 1373, 1244 cm^{-1}; for GalGluMan – 2923, 1370, 1238 cm^{-1}) were enhanced by purification after removing bound protein impurities. The KnownitAll and IRPal 2 software applications were used to examine the spectra of a sample of purified GalGluMan in the stu-*

died polysaccharides. The results show that the intensity of the absorption maximum decreased at 1732 cm^{-1}. At the same time, at 1552.92 cm^{-1}, a new band appeared that refers to the valence vibrations of carboxyl (CO) or nitroso (NO) groups in the purified polysaccharide. This band appeared as a result of the Maillard reaction between the protein and the reducing end of the polysaccharide unit. The intensity of the bands in the 1238–1244 cm^{-1} region also decreased in the purified samples, which may be due to the elimination of a small fraction of protein. The use of FTIR spectroscopy allows the process of purifying water-soluble GluMan and acid-soluble polysaccharide of GalGluMan from acrylamide impurities to be characterized timely and accurately. Additionally, this method allows a comparative estimation of functional groups in polysaccharides of the root tubers of E. hissaricus.

Keywords: *polysaccharides, proteins, glucomannan, galactoglucomannan, infrared spectroscopy*

Для цитирования: Ashurov AI, Dzhonmuroov AS, Usmanova SR, Kholov SE, Muhidinov ZK. Characterization of polysaccharides from *Eremurus hissaricus* roots by FTIR spectroscopy. *Izvestiya Vuzov. Prikladnaya Khimiya i Biotekhnologiya = Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology.* 2021;11(2):281–289. (In Russian) https://doi.org/10.21285/2227-2925-2021-11-2-281-289

ВВЕДЕНИЕ

Эремурус (*Eremurus*) – род многолетних травянистых растений семейства Асфоделовые (Asphodelaceae). Эти растения с крупной удлиненной цветочной кистью, несущей цветки ярких оттенков, являются активными медоносами, они очень декоративны и популярны в садоводстве.

На территории Республики Таджикистан произрастает 29 из более чем 60 известных в мире видов *эремуруса*[1]. Многие виды этого растения, представленные во флоре Таджикистана, в том числе *эремурус гиссарский – Eremurus hissaricus,* имеют практическое значение, поскольку широко применяются в медицине, а из некоторых видов эремуруса изготавливают красители для тканей и клей.

В народной медицине корни этого растения применялись при зубной боли, укусах змей и скорпионов, а также при водянке, а его смесь с винным осадком – как наружное средство для лечения злокачественных язв и др. Об использовании эремуруса в качестве лечебного средства упоминалось еще в средневековых источниках (например, в «Каноне медицины» Абу Али ибн Сина (Авиценна)). В современной медицине корни эремуруса применяют и как слабительное, мочегонное средство при заболеваниях органов ЖКТ, спиртовые экстракты обладают противовоспалительными, противоопухолевыми, антибактериальными свойствами. Обнаруженный в корнях эремуруса новый полисахарид – эремуран, имеет эмульсирующие, обволакивающие и клеящие свойства. В его состав входит манноза, применяемая для лечения некоторых вирусных заболеваний.

Структура и характеристики водорастворимых глюко- и галактоманнанов (GlcMan & GalMan), выделенных из корней нескольких родственных видов *Eremurus,* были изучены ранее. Это такие виды, как *E. regelii Vved*, *E. iae*, *E. anisopterus*, *E. spectabilis* и *E. stenophyllus,* произрастающие в Узбекистане [1], России [2], Китае [3] и Иране [4]. Многие из этих полисахаридов являются линейными и частично ацетилированными глюкоманнанами с различным содержанием D-глюкозы, D-маннозы и ацетильных групп. Содержание перечисленных составляющих соответственно, %, у: *E. Regelii* – 32,5, 65,0 и 2,3; *E. Iae* – 28,8, 69,0 и 2,2; *E. spectabilis* – 25,6 и 74,4, ацетильные группы не обнаружены.

Результаты структурного анализа (^{13}C ЯМР-спектроскопия) для каждого из них оказались очень схожими и выявили присутствие 1,4-β-гликозидной связи и сложноэфирных карбонильных групп. Независимо от своего происхождения GlcMan состоит из β-1,4 связанных мономеров D-маннозы и D-глюкозы [4]. Однако соотношение мономеров маннозы / глюкозы может варьироваться в зависимости от исходного источника GlcMan, как было обнаружено для данного полисахарида, выделенного из растения конжак [5].

Поэтому было интересно исследовать тонкую структуру полисахаридов одного из видов растения – *эремуруса гиссарского* (*Eremurus hissaricus*), который произрастает в высокогорьях Центрального Таджикистана (Биологическая станция НАН РТ, Сиякух). В предыдущих работах приведены результаты определения содержания биологически активных компонентов, выделенных из корней *E. hissaricus* в разные вегетационные периоды [6], представлена основная структура и молекулярные характеристики полисахаридов, экстрагированных водой и кислым раствором с использованием высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) и ЯМР-спектроскопии [7].

В данной статье представлены результаты детального анализа ИК-Фурье спектров образцов полисахарида для сравнительной оценки состояния функциональных групп и подтверждения наличия гликозидных связей, а также на присутствие посторонних примесей в процессе очистки в вышеуказанных образцах.

[1]*Eremurus hissaricus* Vved. // Плантариум. Растения и лишайники России и сопредельных стран: открытый онлайн атлас и определитель растений. 2007—2021. [Электронный ресурс]. URL: https://www.plantarium.ru/page/view/item/14914.html (15.01.2021).

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Объектами исследования явились бутанол-хлороформный экстракт из водорастворимого полисахарида; водорастворимый полисахарид (ВРП) и кислоторастворимый полисахарид (КРП).

Выделение и очистка полисахаридов. Образцы полисахаридов, экстрагированных из *E. hissaricus* в фазе бутонизации, были подвергнуты тонкой очистке с целью изучения их структуры (методика очистки полисахаридов описана в работах [6, 7]). После выделения водорастворимого полисахарида белковая часть была изолирована из раствора полисахарида методом Севаджа с применением смеси бутанол : хлороформ (1:4) [8]. Таким образом, выделенная белковая фракция первоначально была проанализирована методом колебательной инфракрасной спектроскопии (ИК-спектроскопии), далее все образцы были повторно очищены методом колоночной хроматографии (колонки размером 2,5×50 см (Econo-Column®)) на основе полиамида, который используется для депротеинизации и обесцвечивания полисахаридов [9, 10]. Полиамид (40 г) (Sigma-Aldrich, США) выдерживали 16 ч в деионизированной воде для удаления пузырьков воздуха.

Полисахариды элюировали со скоростью потока 3,5 мл/мин в соответствии с процедурой, описанной в работе [10]. Содержание протеинов в исходных и очищенных образцах определяли с помощью метода Бредфорда [11]. Концентрацию полисахарида в элюентах, после полного гидролиза, контролировали с помощью фенолсернокислого метода [12].

Характеристика полисахаридов с помощью ИК-Фурье спектроскопии. Для проведения ИК-Фурье спектроскопии образцы полисахаридов предварительно были высушены при 110 ºС в течение 30 мин. ИК-Фурье спектры были сняты на FTIR-спектрометре Nicolet™ iS™ 50 (Япония), оснащенном встроенной приставкой нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО – ATR) с алмазным кристаллом для ближнего, среднего и дальнего ИК-диапазона. Необходимые функции для управления прибором контролируются программным обеспечением Omnic (Termo Scientifc). Для каждого материала пять образцов при одних и тех же условиях были сканированы в спектральном диапазоне 400–4000 $см^{-1}$ с разрешением 2 $см^{-1}$ в формате светопропускания (128 повторностей). Устройство контроля давления обеспечивало хороший контакт между образцом и кристаллом. Фоновый спектр был получен на воздухе. ИК-Фурье спектры были анализированы с помощью пакета прикладных программ KnownitAll и IRPal 2.0 [13].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В ИК-спектрах белковых веществ, полученных из экстракта бутанол–хлороформ, обнаружено присутствие акриламида, что было подтверждено путем сравнения спектральных полос с полосами акриламидного стандарта (Sigma) (рис. 1). За исключением двух пиков низкой интенсивности – при 2854 и 2968 $см^{-1}$, спектры экстракта полностью соответствовали ИК-спектру акриламида.

В работе [14] отмечено, что присутствие акриламида было обнаружено в готовых продуктах и кулинарных блюдах (хлеб, чипсы, хлопья, картофель фри и др.) после термической обработки соответствующих растительных материалов при высокой температуре. В то же время в работе [15] показано, что аспарагин в присутствии редуцирующих сахаров способен образовывать акриламид в дополнение к малеимиду.

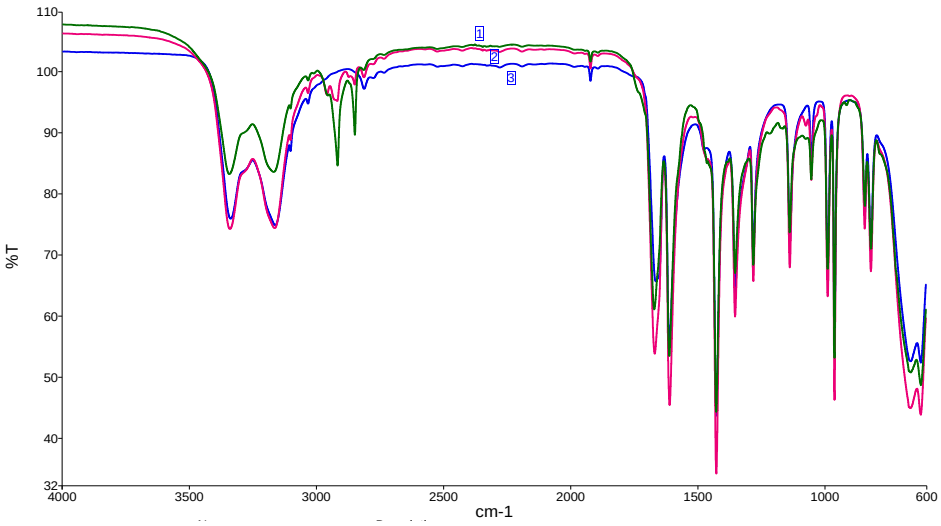


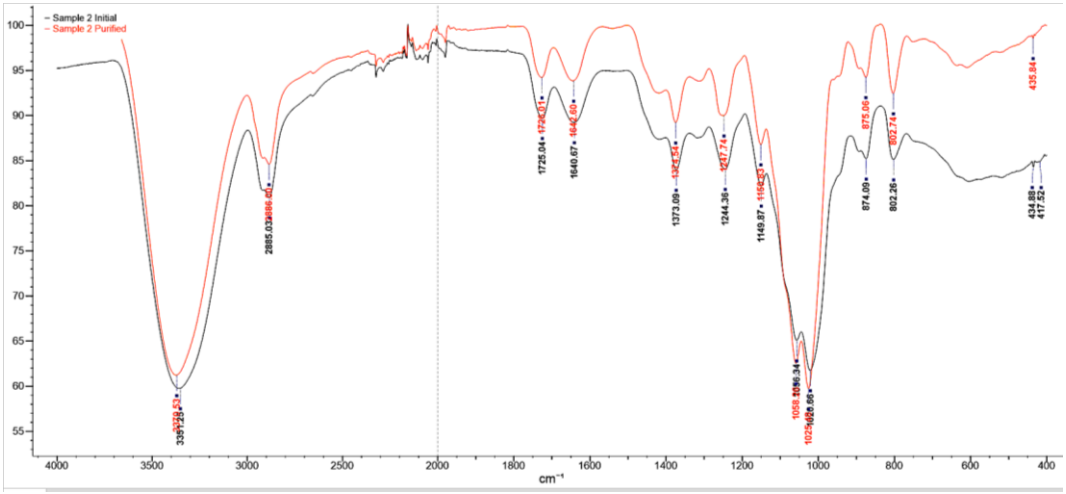
Рис. 1. ИК-Фурье спектры фракции экстрагированной смесью бутанол–хлороформ из сухих (1) и свежих (2) корнеклубней *E. hissaricus* и спектр стандартного образца акриламида (3)

Fig. 1. FT-IR spectra of butanol-chloroform extract from dry (1) and fresh (2) *E. hissaricus* root tubers and the spectrum of a standard acrylamide sample (3)

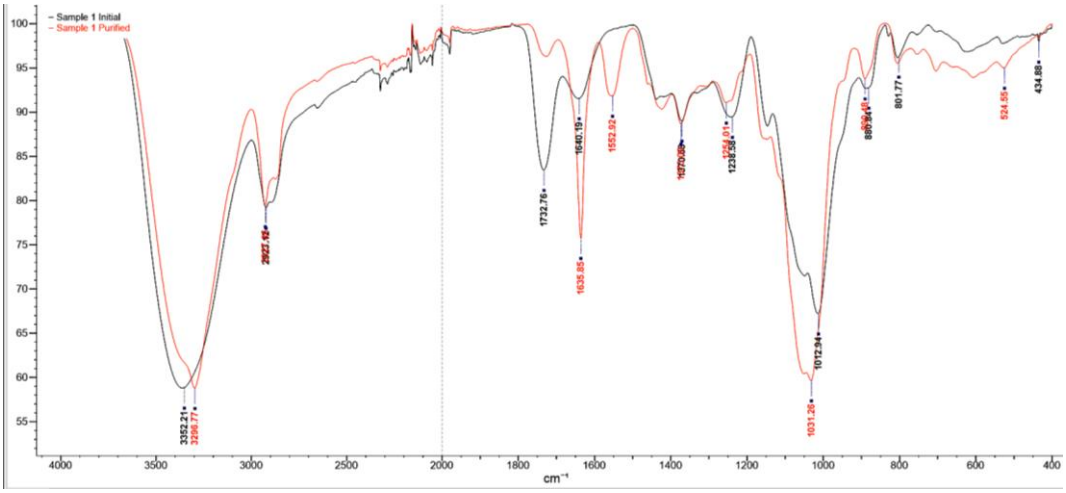
Таким образом, очищенные образцы полисахаридов высушивали и проводили детальный анализ их структуры и молекулярной массы. Моносахаридный состав ВРП и КРП анализировали с помощью высокоэффективной анионной хроматографии с амперометрическим детектором (HPAEC-PAD). Молекулярная масса и структура полисахаридов были установлены с помощью метода многоуглового лазерного светорассеяния (Multiangle Light Scatering – MALS), а также 1D и 2D ЯМР-спектроскопией, что позволило сделать вывод о том, что корни *E. hissaricus* содержат водорастворимый глюкоманнан (GluMan) и растворимые в кислоте полисахариды глюкогалактоманнана (GalGluMan) [7].

Сравнительное исследование полисахаридов с помощью ИК-спектроскопии. На рис. 2 представлены ИК-спектры GluMan и GalGluMan до и после очистки. Полисахаридные фрагменты в этих образцах обнаруживаются по ряду характерных колебательных полос функциональных групп и основного ядра полисахаридного матрикса в ИК-спектрах [16–19].

Наличие широких полос при 3352,21 и 3351,25 см$^{-1}$ указывает на валентные колебания O–H-групп сахаров. Эти полосы сдвигаются в сторону коротковолнового диапазона спектров 3296,71 и 3229,53 см$^{-1}$ соответственно вследствие удаления белковой молекулы и возникновения водородных связей с соседними O–H-группами или между полисахаридными цепями. Узкие полосы при 2923,15 и 2886,00 см$^{-1}$ относятся к диапазону частот валентных колебаний –CH эфирных групп (метила или ацетила). Полоса поглощения при частоте ν = 2927 см$^{-1}$ отражает CH-валентные асимметричные колебания метиленовой группы $\nu_a(CH_2)$, а локальные максимумы на частотах 2886 и 2885 см$^{-1}$ относятся к симметричному типу данных колебаний.



a



b

Рис. 2. ИК-Фурье спектры образцов полисахаридов GluMan (a) и GalGluMan (b) до (черные линии) и после (оранжевые линии) очистки

Fig. 2. FT-IR spectra of polysaccharides GluMan (a) and GalGluMan (b) before (black line) and after (orange line) purification

Валентные колебания карбонильных групп (CO) наблюдаются для неочищенных образцов GluMan и GalGluMan при 1725–1732 и 1635–1640 $см^{-1}$ соответственно, а область 1000–1200 $см^{-1}$ относится к глюкозидным колебаниям C–O–C и углеводного скелета. В спектрах обоих полисахаридов можно заметить существенные различия в интенсивности полос поглощения и степени этерификации (в основном ацетильных групп, как было установлено в работе [7]), а также интенсивность, форму и соотношение инфракрасных полос, расположенных около 1726 $см^{-1}$ (C=O, валентные колебания сложноэфирных карбонильных групп) для GluMan, 1732 $см^{-1}$ – для GalGluMan, и в области 1642, 1636 $см^{-1}$ (валентные колебания карбоксилата иона COO^-) – для GluMan и GalGluMan соответственно. Рассчитанное количество этерифицированных карбонильных групп из отношения площадей соответствующих пиков ($СЭ=S_{1725}/(S_{1725}+S_{1640}) \cdot 100\%$) составило 45,44% – для GluMan, 79,95% – для GalGluMan полисахаридов.

Наконец, основные пики, отнесенные к симметричным и асимметричным валентным колебаниям CH_2 пиранозного кольца (для GluMan – 2886, 1373, 1244 $см^{-1}$, для GalGluMan – 2923, 1370, 1238 $см^{-1}$), по-видимому, усиливаются при очистке, поскольку в процессе очистки связанные белковые примеси удаляются.

Слабые полосы при 874 и 802 $см^{-1}$ в ИК-спектре GluMan относятся к деформационным валентным колебаниям CH-связей в β-пиранозной форме D-глюкозы и D-маннозы. Причем эта важная область ИК-спектров позволяет определить содержание полисахаридов в растительном материале путем суммирования площадей этих пиков (при 873 и 812 $см^{-1}$ – для GluMan; 880 $см^{-1}$ – для GalGluMan), которые представляют деформационные колебания CH-связей, характерных для D-маннозы [19], что указывает на ее присутствие в полисахариде как в β-, так и в α-конфигурациях [2–4]. Этот вывод согласуется с результатами анализа других видов *Eremurus*, произрастающих в России [2] и Иране [4], для которых комбинация этих пиков считается характерной для D-маннозы, находящейся в полисахаридах в β-конфигурации. Присутствие β-1,4-глюкозидных и β-1,4-маннозидных связей в GluMan связывают с валентными колебаниями C–O–C, расположенными в областях 1068, 1025 и 1244 $см^{-1}$ [4, 7]. Слабые полосы при 1274 и 1264 $см^{-1}$ были отнесены к ацетильным и метильным группам полисахаридов GluMan и GalGluMan соответственно.

Метильная и ацетильная составляющие полисахаридов были изучены методом ЯМР-спектроскопии [7]. К сожалению, желаемый кросс-пик, связь этих групп с соответствующим сахарным остатком в ЯМР HMBC-спектрах было трудно обнаружить из-за неблагоприятных релаксационных свойств и слабого связывания.

В результате анализа спектров образца очищенного GalGluMan в исследуемых полисахаридах установлено, что интенсивность максимума поглощения уменьшалась при 1732 $см^{-1}$, в то время как при ν = 1552,92 $см^{-1}$ сформировалась новая полоса, соответствующая колебанию N–H-связей Амид-II и относящаяся, вероятно, к свободной молекуле белка. Этот пик был проанализирован с использованием программного обеспечения IR Pal (рис. 3) и обозначен как валентное колебание карбоксильных (CO) или нитрозо (N=O) групп в очищенном полисахариде, которое образовалось в результате реакции Майяра между белком и восстанавливающим концом полисахаридного звена. Интенсивность полос в области 1238–1244 $см^{-1}$ также уменьшилась в очищенных образцах, что, возможно, связано с отщеплением небольшой фракции белка.

В соответствии с другой поисковой системой эта полоса указала на присутствие функциональных групп белка: аминной ($R\text{-}NH_2$) и амидной ($R\text{-}CONH_2$) групп, которые были отнесены к NH_2 и NH валентным колебаниям как белка, так и белка полисахаридного конъюгата (таблица).

Другим открытием в спектрах поглощения ИК-Фурье является уменьшение интенсивности пика в области 1725–1734 $см^{-1}$, характерного на наличие связи C=O сложноэфирного конъюгата, что позволяет однозначно заключить, что исследуемый образец GalGluMan высвобождается из белкового комплекса. Полосы при 801 $см^{-1}$ в GalGluMan были отнесены к α-пиранозной конфигурации сахарного звена, что подтверждается присутствием остатков рамнозы, связанных в боковые цепи GalGluMan полисахарида, в то время как поглощение в области 880–890 $см^{-1}$ подтверждает наличие β-пиранозной конфигурации другого сахарного остатка, т.е. маннозы или глюкозы.

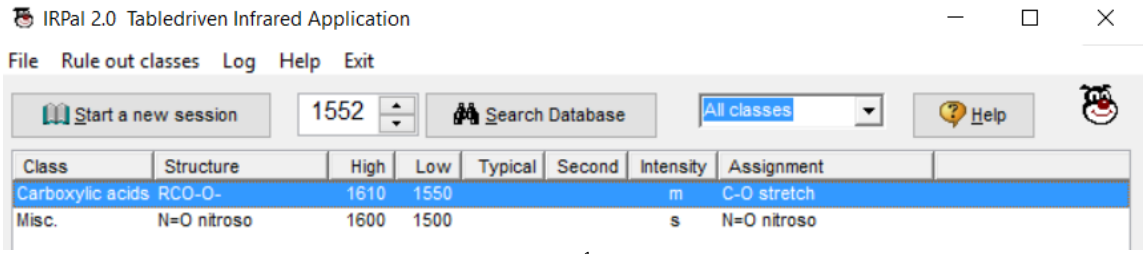


Рис. 3. Анализ полос поглощения при ν = 1552 $см^{-1}$ с использованием поисковой программы IR Pal

Fig. 3. Analysis of absorption bands at the ν = 1552 cm^{-1} using the IR Pal search Database

Анализ спектральной полосы с помощью информационной системы KnowitAll.

Spectral Band Analysis Using KnowitAll Database

Соединение	Функциональная группа	Пик, $см^{-1}$		Характерно для связей
Карбоновая кислота	RCO-O-	1610 (с)	1550 (ср.)	С–О валентных колебаний
Смешанные соединения	N=O	1600 (с)	1550 (ср.)	N=O нитрозосоединений
Карбоновая кислота	RCO-O-	1405 (ср.)	1395 (с)	С–О валентных колебаний

ВЫВОДЫ

Использование в данном исследовании ИК-спектроскопии поспособствовало качественно охарактеризовать процесс очистки полисахаридов от белковой фракции. В ИК-спектрах белковых веществ, полученных из экстракта бутанол–хлороформ, обнаружено присутствие акриламида. Это было подтверждено путем сравнения спектральных полос с полосами стандарта акриламида (Sigma).

Анализ ИК-Фурье спектров с применением пакета прикладных программ KnownitAll и IRPal 2.0 позволил оценить отщепление белковых примесей от полисахаридного матрикса в процессе очистки. Показано, что основные пики, отнесенные к асимметричным и симметричным валентным колебаниям CH_2 пиранозного кольца (для GluMan – 2886, 1373, 1244 $см^{-1}$, для GalGluMan – 2923, 1370, 1238 $см^{-1}$), усиливаются из-за удаления белковых примесей в процессе очистки полисахаридов. Это уменьшает интенсивность пика в области 1725–1734 $см^{-1}$, характерного на наличие связи С=О сложноэфирного конъюгата с белками.

Таким образом, полученные результаты дополняют данные о структуре двух полисахаридов – глюкоманнана (GluMan) и глюкогалактоманнана (GalGluMan) [7], они также позволили оценить состояние функциональных групп у изолированных полисахаридов корнеклубня *E. hissaricus*.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Rakhimov D.A., Yuldashev N.P. Polysaccharides of *Eremurus* XXIX. Isolation of a glucomannan // Chemistry of Natural Compounds. 1996. Vol. 32. Issue 4. P. 587–588. https://doi.org/10.1007/BF01372621

2. Smirnova N.I., Mestechkina N.M., Shcherbukhin V.D. The structure and characteristics of glucomannans from *Eremurus iae* and *E. zangezuricus*: assignment of acetyl group localization in macromolecules // Applied Biochemistry and Microbiology. 2001. Vol. 37. Issue 3. P. 287–291. https://doi.org/10.1023/A:1010237419780

3. Hu C., Kong Q., Yang D., Pan Y. Isolation and structural characterization of a novel galactomannan from *Eremurus anisopterus* (Ker. et Kir) Regel roots // Carbohydrate Polymers. 2011. Vol. 84. Issue 1. P. 402–406. https://doi.org/10.1016/j. carbpol. 2010.11.054

4. Beigi M., Jahanbin K. A water-soluble polysaccharide from the roots of Eremurus spectabilis M. B. subsp. spectabilis: Extraction, purification and structural features // International Journal of Biological Macromolecules. 2019. Vol. 128. P. 648–654. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac. 2019.01.178

5. Maeda M., Shimahara H., Sugiyama N. Detailed Examination of the Branched Structure of Konjac Glucomannan // Agricultural and Biological Chemistry. 1980. Vol. 44. Issue 2. P. 245–252. https://doi.org/10.1080/00021369.1980.10863939

6. Ашуров А.И., Усманова С.Р., Мухидинов З.К., Лиу Л.Ш. Биологически активные компоненты корня эремуруса гиссарского (E. hissaricus) // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2018. N 1 (361). С. 35–38.

7. Muhidinov Z.K., Bobokalonov J.T., Ismoilov I.B., Strahan G.D., Chau H.K., Hotchkiss A.T., et al. Characterization of two types of polysaccharides from *Eremurus hissaricus* roots growing in Tajikistan // Food Hydrocolloids. 2020. Vol. 105. Issue 10. P. 105768. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105768

8. Staub A.M. Removal of proteins: Sevag method. In: Whistler R.L., Bemiller J.N., Wolfrom M.L. (eds.). Methods in Carbohydrate Chemistry. V. General Polysaccharides. New York: Academic Press, 1965. P. 5–6.

9. Cai W., Xie L., Chen Y., Zhang H. Purification, characterization and anticoagulant activity of the polysaccharides from green tea // Carbohydrate Polymers. 2013. Vol. 92. Issue 2. P. 1086–1090. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2012.10.057

10. Jiang H., Sun P., He J., Shao P. Rapid purification of polysaccharides using novel radial flow ion-exchange by response surface methodology from *Ganoderma lucidum* // Food and Bioproducts Processing: Transactions of the Institution of Chemical Engineering. Part C. 2012. Vol. 90. Issue 1. P. 1–8. https://doi.org/10.1016/j.fbp.2010.12.001

11. Bradford M.M. A rapid and sensitive method for the quantization of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding // Analytical Biochemistry. 1976. Vol. 72. Issue 1-2. P. 248–254. https://doi.org/10.1006/abio.1976.9999

12. Cuesta G., Suarez N., Bessio M.I., Ferreira F., Massaldi H. Quantitative determination of pneumococcal capsular polysaccharide serotype 14 using a modification of phenol–sulfuric acid method // Journal of Microbiological Methods. 2003. Vol. 52. Issue 1. P. 69–73. https://doi.org/10.1016/S0167-7012(02)00151-3

13. Ayvaz H., Rodriguez-Saona L.E. Application

of handheld and portable spectrometers for screening acrylamide content in commercial potato chips // Food Chemistry. 2015. Vol. 174. P. 154–162. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.11.001

14. Yaylayan V.A., Wnorowski A, Locas C.P. Why Asparagine Needs Carbohydrates To Generate Acrylamide // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2003. Vol. 51. Issue 6. P.1753–1757. https://doi.org/10.1021/jf0261506

15. Kacurakova M., Capek P., Sasinkova V., Wellner N., Ebringerova A. FT-IR study of plant cell wall model compounds: pectic polysaccharides and hemicelluloses // Carbohydrate Polymers. 2000. Vol. 43. Issue 2. P.195–203. https://doi.org/10.1016/S0144-8617(00)00151-X

16. Coimbra M.A., Barros A.S., Rutledge D.N., Delgadillo I. FTIR spectroscopy as a tool for the analysis of olive pulp cell-wall polysaccharide extracts // Carbohydrate Research. 1999. Vol. 317. Issue 1-4. P. 145–154. https://doi.org/10.1016/S0008-6215(99)00071-3

17. Wellner N., Kacurakova M., Malovikova A., Wilson R.H., Belton P.S. FT-IR study of pectate and pectinate gels formed by divalent cations // Carbohydrate Research. 1998. Vol. 308. Issue 1-2. P. 123–131. https://doi.org/10.1016/S0008-6215(98)00065-2

18. Da Silva D.F., Ogawa C.Y.L., Sato F., Neto A.M., Larsen F.H., Matumoto-Pintro P.T. Chemical and physical characterization of Konjac glucomannan-based powders by FTIR and 13C MAS NMR // Powder Technology. 2020. Vol. 361. P. 610–616. https://doi.org/10.1016/j.powtec.2019.11.071

19. Acemi A., Çobanoğlu Ö.,Türker-Kaya S. FTIR-based comparative analysis of glucomannan contents in some tuberous orchids, and effects of pre-processing on glucomannan measurement // Journal of the Science of Food Agriculture. 2019. Vol. 99. Issue 7. P. 3681–3686. https://doi.org/10.1002/jsfa.9596

REFERENCES

1. Rakhimov DA, Yuldashev NP. Polysaccharides of *Eremurus* XXIX. Isolation of a glucomannan. *Chemistry of Natural Compounds*. 1996;32(4):587–588. https://doi.org/10.1007/BF01372621

2. Smirnova NI, Mestechkina NM, Shcherbukhin VD. The structure and characteristics of glucomannans from *Eremurus iae* and *E. zangezuricus*: assignment of acetyl group localization in macromolecules. *Applied Biochemistry and Microbiology.* 2001; 37(3):287–291. https://doi.org/10.1023/A:1010237419780

3. Hu C, Kong Q, Yang D, Pan Y. Isolation and structural characterization of a novel galactomannan from *Eremurus anisopterus* (Ker. et Kir) Regel roots. *Carbohydrate Polymers*. 2011;84(1):402–406. https//:doi.org/10.1016/j.carbpol. 2010.11.054

4. Beigi M, Jahanbin K. A water-soluble polysaccharide from the roots of Eremurus spectabilis M. B. subsp. spectabilis: Extraction, purification and structural features. *International Journal of Biological Macromolecules.* 2019;128:648–654. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac. 2019.01.178

5. Maeda M, Shimahara H, Sugiyama N. Detailed Examination of the Branched Structure of Konjac Glucomannan. *Agricultural and Biological Chemistry*. 1980;44(2):245–252. https://doi.org/10.1080/00021369.1980.10863939

6. Ashurov AI, Usmanova SR, Mukhidinov ZK, Liu LSh. Biologically active components of the eremurus hissaricus root. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Pishchevaya tekhnologiya = News of institutes of higher education. Food Technology.* 2018;1:35–38. (In Russian)

7. Muhidinov ZK, Bobokalonov JT, Ismoilov IB, Strahan GD, Chau HK, Hotchkiss AT, et al. Characterization of two types of polysaccharides from *Eremurus hissaricus* roots growing in Tajikistan. *Food Hydrocolloids*. 2020;105(10):105768. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105768

8. Staub AM. Removal of proteins: Sevag method. In: Whistler RL, Bemiller JN, Wolfrom ML. (eds.). *Methods in Carbohydrate Chemistry*. V. General Polysaccharides. New York: Academic Press; 1965. p. 5–6.

9. Cai W, Xie L, Chen Y, Zhang H. Purification, characterization and anticoagulant activity of the polysaccharides from green tea. *Carbohydrate Polymers*. 2013;92(2):1086–1090. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2012.10.057

10. Jiang H, Sun P, He J, Shao P. Rapid purification of polysaccharides using novel radial flow ion-exchange by response surface methodology from *Ganoderma lucidum. Food and Bioproducts Processing: Transactions of the Institution of Chemical Engineering. Part C.* 2012;90(1):1–8. https://doi.org/10.1016/j.fbp.2010.12.001

11. Bradford MM. A rapid and sensitive method for the quantization of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry.* 1976;72(1-2):248–254. https://doi.org/10.1006/abio.1976.9999

12. Cuesta G, Suarez N, Bessio MI, Ferreira F, Massaldi H. Quantitative determination of pneumococcal capsular polysaccharide serotype 14 using a modification of phenol–sulfuric acid method. Journal of Microbiological Methods. 2003;52(1):69–73. https://doi.org/10.1016/S0167-7012(02)00151-3

13. Ayvaz H, Rodriguez-Saona LE. Application of handheld and portable spectrometers for screening acrylamide content in commercial potato chips. *Food Chemistry*. 2015;174:154–162. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.11.001

14. Yaylayan VA, Wnorowski A, Locas CP. Why Asparagine Needs Carbohydrates To Generate Acrylamide. *Journal of Agricultural and Food Chemistry.* 2003;51(6):1753–1757. https://doi.org/

10.1021/jf0261506

15. Kacurakova M, Capek P, Sasinkova V, Wellner N, Ebringerova A. FT-IR study of plant cell wall model compounds: pectic polysaccharides and hemicelluloses. *Carbohydrate Polymers.* 2000;43(2):195–203. https://doi.org/10.1016/S0144-8617(00)00151-X

16. Coimbra MA, Barros AS, Rutledge DN, Delgadillo I. FTIR spectroscopy as a tool for the analysis of olive pulp cell-wall polysaccharide extracts. *Carbohydrate Research*. 1999;317(1-4):145–154. https://doi.org/10.1016/S0008-6215(99)00071-3

17. Wellner N, Kacurakova M, Malovikova A, Wilson RH, Belton PS. FT-IR study of pectate and pectinate gels formed by divalent cations. *Carbohydrate Research*. 1998;308(1-2):123–131. https://doi.org/10.1016/S0008-6215(98)00065-2

18. Da Silva DF, Ogawa CYL, Sato F, Neto AM, Larsen FH, Matumoto-Pintro PT. Chemical and physical characterization of Konjac glucomannan-based powders by FTIR and ^{13}C MAS NMR. *Powder Technology.* 2020;361:610–616. https://doi.org/10.1016/j.powtec.2019.11.071

19. Acemi A, Çobanoğlu Ö,Türker-Kaya S. FTIR-based comparative analysis of glucomannan contents in some tuberous orchids, and effects of pre-processing on glucomannan measurement. *Journal of the Science of Food Agriculture*. 2019;99(7):3681–3686. https//:doi.org/10.1002/jsfa.9596

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Ашуров Ашурбой Ильхомович,
докторант,
Институт химии им. В.И. Никитина
НАН Таджикистана,
734063, г. Душанбе, ул. Айни, 299/2,
Республика Таджикистан,
e-mail: ashurboy_1593@mail.ru

Джонмуродов Абдували Саломович,
к.х.н., ведущий научный сотрудник
лаборатории химии высокомолекулярных
соединений,
Институт химии им. В.И. Никитина
НАН Таджикистана,
734063, г. Душанбе, ул. Айни, 299/2,
Республика Таджикистан,
e-mail: abduvalid@mail.ru

Усманова Сураё Рахматжановна,
к.х.н., ведущий научный сотрудник
лаборатории химии высокомолекулярных
соединений,
Институт химии им. В.И. Никитина
НАН Таджикистана,
734063, г. Душанбе, ул. Айни, 299/2,
Республика Таджикистан,
e-mail: surayo.usmanova@gmail.com

Холов Шавкат Ерович,
к.т.н., старший научный сотрудник
лаборатории химии высокомолекулярных
соединений,
Институт химии им. В.И. Никитина
НАН Таджикистана,
734063, г. Душанбе, ул. Айни, 299/2,
Республика Таджикистан,
e-mail: shavkat.kholov@yandex.ru

Мухидинов Зайниддин Камарович,
д.х.н., профессор, главный научный сотрудник
лаборатории химии
высокомолекулярных соединений,

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Ashurboy I. Ashurov,
Doctoral Student,
V.I. Nikitin Institute of Chemistry,
National Academy of Sciences of Tajikistan,
299/2, Aini St., Dushanbe, 734063,
Republic of Tajikistan,
e-mail: ashurboy_1593@mail.ru

Abduvali S. Dzhonmurodov,
Cand. Sci (Chemistry), Leading Researcher
Laboratory of Biopolymers,
V.I. Nikitin Institute of Chemistry,
National Academy of Sciences of Tajikistan,
299/2, Aini St., Dushanbe, 734063,
Republic of Tajikistan,
e-mail: abduvalid@mail.ru

Surayo R. Usmanova,
Cand. Sci (Chemistry), Leading Researcher,
Laboratory of Biopolymers,
V.I. Nikitin Institute of Chemistry,
National Academy of Sciences of Tajikistan,
299/2, Aini St., Dushanbe, 734063,
Republic of Tajikistan,
e-mail: surayo.usmanova@gmail.com

Shavkat E. Kholov,
Cand. Sci. (Engineering), Senior Scientist,
Laboratory of Biopolymers,
V.I. Nikitin Institute of Chemistry,
National Academy of Sciences of Tajikistan,
299/2, Aini St., Dushanbe, 734063,
Republic of Tajikistan,
e-mail: shavkat.kholov@yandex.ru

Zainiddin K. Muhidinov,
Dr. Sci. Chemistry), Professor,
Chief Researcher,
Laboratory of Biopolymers,

Институт химии им. В.И. Никитина
НАН Таджикистана,
734063, г. Душанбе, ул. Айни, 299/2,
Республика Таджикистан,
✉ e-mail: zainy@mail.ru

V.I. Nikitin Institute of Chemistry,
National Academy of Sciences of Tajikistan,
299/2, Aini St., Dushanbe, 734063,
Republic of Tajikistan,
✉ e-mail: zainy@mail.ru

Заявленный вклад авторов
Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors
The authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

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

Поступила в редакцию 08.02.2021.
Одобрена после рецензирования 11.05.2021.
Принята к публикации 31.05.2021.

The article was submitted 08.02.2021.
Approved after reviewing 11.05.2021.
Accepted for publication 31.05.2021.