

# Количественное определение полисахаридов в лекарственном растительном сырье

С.Д. Кахраманова<sup>1,3</sup>, Д.О. Боков<sup>1,2</sup>, И.А. Самылина<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Первый Московский государственный медицинский

университет им. И.М. Сеченова (Сеченовский Университет),

Российская Федерация, 119991, Москва, ул. Трубецкая, д. 8, стр. 2;

<sup>2</sup>Федеральный испытательный центр питания и биотехнологии,

Российская Федерация, 109240, Москва, Устьинский проезд, д. 2/14;

<sup>3</sup>Научный центр экспертизы средств медицинского применения

Министерства здравоохранения Российской Федерации,

Российская Федерация, 127051, Москва, Петровский бульвар, д. 8, стр. 2

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Кахраманова Сабина Джейхунровна – аспирант кафедры фармацевтического естествознания Института Фармации им. А.П. Нелюбина Сеченовского Университета, аналитик отдела государственной фармакопейки и фармакопейного анализа НЦЭСМП. Тел.: +7 (968) 530-84-74. E-mail: ksd113@yandex.ru. ORCID: 0000-0002-8160-7829

Боков Дмитрий Олегович – доцент кафедры фармацевтического естествознания Института фармации им. А.П. Нелюбина Сеченовского Университета, кандидат фармацевтических наук. Тел.: +7 (925) 358-84-27. E-mail: fmmsu@mail.ru. ORCID: 0000-0003-2968-2466

Самылина Ирина Александровна – профессор кафедры фармацевтического естествознания Института Фармации им. А.П. Нелюбина Сеченовского Университета, доктор фармацевтических наук, профессор. Тел.: +7 (916) 585-42-17. E-mail: laznata@mail.ru. ORCID: 0000-0002-4895-0203

## РЕЗЮМЕ

Рассмотрены основные методы количественного определения полисахаридов в лекарственном растительном сырье (ЛРС) и лекарственных растительных препаратах (ЛРП). Следует отметить, что фармакопейными методами являются гравиметрия и спектрофотометрия, которые имеют ряд недостатков, связанных непосредственно с проведением и получаемыми результатами. Однако с появлением современных инструментальных физико-химических методов, таких как высокоэффективная жидкостная хроматография с различными типами детектирования и капиллярный электрофорез, появилась возможность значительного улучшения контроля качества ЛРС и ЛРП. Представляется весьма актуальным более широкое их применение в фармакопейном анализе ЛРС и ЛРП.

**Ключевые слова:** полисахариды, количественное определение, лекарственное растительное сырье, лекарственные растительные препараты.

**Для цитирования:** Кахраманова С.Д., Боков Д.О., Самылина И.А. Количественное определение полисахаридов в лекарственном растительном сырье. Фармация, 2020; 69 (8): 5–12. <https://doi.org/10.29296/25419218-2020-08-01>

## QUANTIFICATION OF POLYSACCHARIDES IN MEDICINAL PLANT RAW MATERIALS

S.D. Kakhramanova<sup>1,3</sup>, D.O. Bokov<sup>1,2</sup>, I.A. Samylyna<sup>1</sup>

<sup>1</sup>I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), 8, Trubetskaya St., Build. 2, Moscow 119991, Russian Federation;

<sup>2</sup>Federal Testing Center for Nutrition and Biotechnology, 22/14, Ustinsky Passage, Moscow 109240, Russian Federation;

<sup>3</sup>Research Center for Examination of Medical Products, Ministry of Health of the Russian Federation, 8, Petrovsky Boulevard, Build. 2, Moscow 127051, Russian Federation

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Kakhramanova Sabina Dzheykhunovna – post-graduate student of the Department of the Pharmaceutical Natural Science of Sechenov University. Tel.: +7 (968) 530-84-74. E-mail: ksd113@yandex.ru. ORCID: 0000-0002-8160-7829

Bokov Dmitry Olegovich – Associate Professor of the Department of the Pharmaceutical Natural Science of Sechenov University, PhD. Tel.: +7 (925) 358-84-27. E-mail: fmmsu@mail.ru. ORCID: 0000-0003-2968-2466

Samylyna Irina Alexandrovna – Professor of the Department of the Pharmaceutical Natural Science of Sechenov University, Doctor of Pharmaceutical Sciences, Professor. Tel.: +7 (916) 585-42-17. E-mail: laznata@mail.ru. ORCID: 0000-0002-4895-0203

## SUMMARY

Main assays for the quantification of polysaccharides in medicinal plant raw materials (MPRM) and herbal remedies (HRs) are considered. It should be noted that the pharmacopoeial methods are gravimetry and spectrophotometry, which have a number of disadvantages directly related to their performance and obtained results. However, with the advent of modern instrumental physicochemical methods, such as HPLC with various types of detection and capillary electrophoresis, it has become possible to substantially improve the quality control for MPRM and HRs. It seems very relevant to more widely use the methods in the pharmacopoeial analysis of MPRM and HRs.

**Key words:** polysaccharides, quantification, medicinal plant raw materials, herbal remedies.

**For reference:** Kakhramanova S.D., Bokov D.O., Samylina I.A. Quantification of polysaccharides in medicinal plant raw materials. *Farmatsiya*, 2020; 69 (8): 5–12. <https://doi.org/10.29296/25419218-2020-08-01>

Полисахариды (ПСХ) являются первичными продуктами метаболизма растений; это высокомолекулярные соединения, образующиеся в процессе биосинтеза при конденсации более 5 моносахаридов. Наиболее богаты полисахаридами представители семейств астровых (*Asteraceae*), розоцветных (*Rosaceae*), яснотковых (*Lamiaceae*), бобовых (*Fabaceae*), льновых (*Linaceae*), мальвовых (*Malvaceae*), подорожниковых (*Plantaginaceae*) [1, 2]. По физиологической роли различают следующие группы ПСХ: структурные (целлюлоза), резервные (крахмал, инулин), функциональные (слизи, камеди) и метаболические (сахароза, мальтоза, декстрины) [3]. Спектр фармакологических эффектов растительных ПСХ весьма широк. Наиболее характерны для этой группы биологических активных соединений (БАС): отхаркивающее, противовоспалительное, иммуностропное, энтеросорбирующее, гепатопротекторное, общеукрепляющее действия [4–6].

К фармакопейным видам лекарственного растительного сырья (ЛРС), содержащего ПСХ, относятся ламинарии слоевища, льна посевного семени, подорожника большого листа, фиалки трава, череды трехраздельной трава, девясила высокого корневища и корни, липы цветки, лопуха корни, мать-и-мачехи обыкновенной листья, алтея корни. Препараты на основе вышеперечисленного ЛРС включены в Государственный Реестр лекарственных средств [7, 8]. На семена льна, корни и траву алтея имеются монографии в Европейской Фармакопее X издания (EuPh X) [9].

Основным способом выделения полисахаридов из растительной матрицы является экстракция водой с последующим их осаждением 96% этиловым спиртом: к концентрированным водным извлечениям прибавляют трехкратный объем спирта, что приводит к выпадению рыхлых осадков, которые отделяют, промывают органическими растворителями и высушивают. Реже вместо 96% этилового спирта используются 20%

раствор свинца ацетата и раствор хлорида окисного железа.

Для расщепления ПСХ до моносахаридов применяется кислотный гидролиз (например, серной кислотой 1 моль/л) при 100°C в течение 6 ч для водорастворимых полисахаридов и 24 ч для пектиновых веществ [10].

Для количественного определения ПСХ в ЛРС Государственная Фармакопея Российской Федерации XIV издания (ГФ РФ XIV) использует гравиметрический и спектрофотометрический методы.

Гравиметрический (весовой) метод основан на осаждении ПСХ 96% этиловым спиртом с последующим высушиванием до постоянной массы и взвешиванием. Данным методом контролируется суммарное содержание ПСХ в семенах льна, траве фиалки, траве череды трехраздельной, листьях подорожника большого [7].

Несмотря на то, что весовой метод считается одним из наиболее точных, он обладает рядом недостатков. Длительность проведения анализа, его трудоемкость не позволяют быстро получить результат. Погрешность определения достаточно высока, поскольку наряду с ПСХ происходит осаждение других сопутствующих и балластных веществ, извлекаемых из ЛРС. Данный вариант анализа не позволяет оценить содержание отдельного углевода в выделенных образцах, т.к. определяется суммарный выход всего комплекса. Невысокая чувствительность метода не позволяет определять малые количества аналита, поэтому в ГФ РФ XIV используются очень большие навески сырья (например, 10,0 г листьев в ФС «Подорожника большого листа») [7].

Спектрофотометрический метод (СФМ) основан на цветной реакции моносахаридов с пикриновой кислотой в щелочной среде (листья мать-и-мачехи) или резорцином (корни лопуха) и последующей регистрацией значения поглощения на спектрофотометре при аналитической длине волны, которая подбирается в зависимо-

сти от выбранной фотометрической реакции и природы моносахаридов. Основным недостатком спектрофотометрических методик является достаточно низкая специфичность, в связи с чем могут быть получены завышенные результаты.

Используемые в ГФ РФ XIV методики спектрофотометрического определения предполагают применение, в основном, стандартных образцов глюкозы и фруктозы. Существуют методики и проекты ФС, в которых пересчет ведется на ксилосу [11] и галактуроновую кислоту [12], но эти стандартные образцы менее доступны для контрольно-аналитических лабораторий.

В ОФС «Определение сахаров спектрофотометрическим методом» [13] кроме реакции с пикриновой кислотой включены и другие реакции. Антроновый метод основан на расщеплении сложных углеводов до моносахаридов в сильно-кислой среде с последующей их дегидратацией и образованием оксиметилфурфуrolа, образующего при реакции с антроном комплексное соединение синевато-зеленого цвета (рис. 1). Интенсивность образовавшейся окраски пропорциональна содержанию сахаров в реакционной среде. При нагревании пентоз в орциновом методе (или их фосфорных производных) в присутствии кислот от них отщепляется вода и образуется фурфурол. В присутствии орцина и железа (III) хлорида при этом наблюдается появление зеленого окрашивания (рис. 2). Несмотря на специфичные окраски продуктов реакции данные методы (антроновый, орциновый) не используются для определения ПСХ в ЛРС.

Для анализа алтея корней ГФ РФ XIV предлагает определение суммы экстрактивных веществ, извлекаемых водой, не позволяющее в полной мере оценить качество сырья [7].

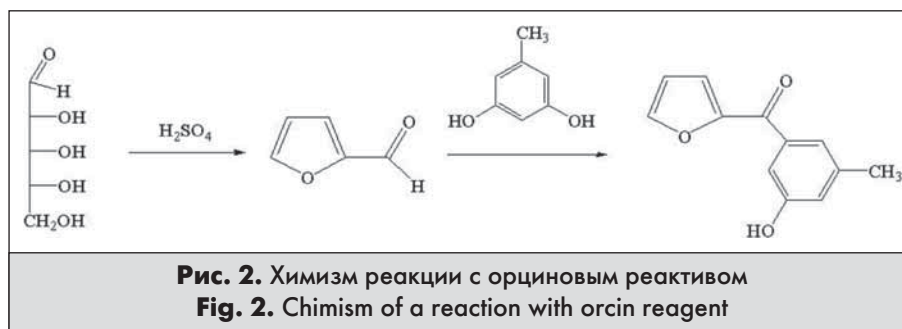
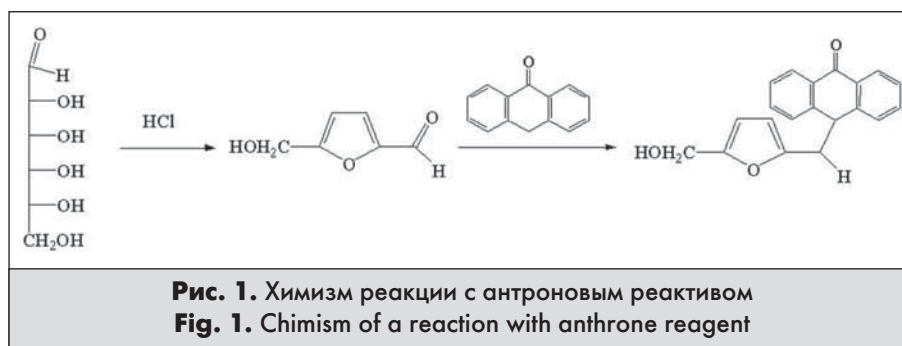
Государственная Фармакопея Республики Беларусь (ГФ РБ) и Государственная Фармакопея Республики Казахстан контролируют качество ЛРС, содержащего ПСХ, с помощью весового метода [15, 16].

В Европейской, Британской Фармакопеях и Фармакопее США описаны методики определения общих сахаров с антроновым и ор-

циновым реактивами [14]. Кроме того, в EuPh X существуют монографии на камеди (например, гуаровую), не предлагающие методов количественного определения. Также в EuPh X для анализа качества ЛРС, содержащего ПСХ, используется методика определения индекса набухания. Последний представляет собой объем в миллилитрах, занимаемый 1 г ЛРС, включая выделившиеся слизи, содержащие полисахариды, после выдержки в воде течение 4 ч [9].

Доброкачественность ЛРС напрямую коррелирует с химическим составом ПСХ, который весьма разнообразен, а свойства отдельных компонентов различны. В связи с этим многими исследователями проводились работы по модернизации классических, а также по разработке новых методов определения ПСХ в ЛРС.

Д.Н. Оленниковым и Л.М. Танхаевой в Институте общей и экспериментальной биологии СО РАН разработана методика количественного определения группового состава углеводного комплекса растительных объектов (свободные углеводы, водорастворимые полисахариды, пектиновые вещества и гемицеллюлозы) из одной навески. Метод основан на объединении известной схемы разделения углеводов по Бейли и спектрофотометрического метода Дрейвуда. Данная схема заключается в последовательной экстракции растительного сырья растворителями разной природы и позволяет более или менее избирательно выделять необходимые классы



углеводного комплекса. Объединение спектрофотометрии и гравиметрии выгодно отличает данную методику от остальных, т.к. позволяет определять только содержание углеводов в исследуемых образцах. Метрологический анализ разработанной методики показал, что относительная ошибка определения не превышает 5%. Методика была апробирована на 6 видах ЛРС, относящегося к разным морфологическим группам – подорожника большого листа, мать-и-мачехи листа, череды трехраздельной трава, липы цветки, девясила высокого корневища и корня, алтея корня [17].

Дальнейшие исследования привели к активной разработке СФМ методик определения ПСХ в ЛРС. Разработана методика количественного определения суммарного содержания ПСХ в семенах льна в пересчете на ксилозу с использованием антронового реактива (модифицированный метод Дрейвуда) в качестве раствора сравнения, а не стандартного образца глюкозы, как в ГФ РФ XIV [11]. Оценку качества корней лопуха предложено определять с помощью СФМ методики количественного определения в ЛРС суммарного содержания полифруктанов в пересчете на фруктозу с использованием резорцина [18]. В последующих исследованиях была разработана СФМ методика количественного определения суммарного содержания полифруктанов в корнях одуванчика лекарственного [19].

Для количественного анализа ПСХ корневищ аира болотного (обыкновенного) использована СФМ-методика с применением в качестве реактива раствора карбазола [20]. В ГФ РФ XIV в корневищах аира определяется только суммарное содержание эфирного масла. Для листьев мать-и-мачехи в свое время было предложено СФМ определение ПСХ с использованием 5% раствора фенола [21], в ГФ РФ XIV для оценки этого ЛРС включена СФМ методика, где в качестве реактива используется пикриновая кислота. Суммарное содержание сахаров в листьях березы предлагалось определять антроновым методом с использованием рамнозы в качестве стандартного образца [22, 23], в ГФ РФ XIV данное сырье стандартизуется по содержанию суммы флавоноидов в пересчете на гиперозид. Разработана СФМ методика определения полисахаридов в листьях и настое крапивы двудомной с применением раствора пикриновой кислоты [24], и дополнительно проведено определение суммы ПСХ и простых сахаров антроновым и орциновым методами [25].

Для оценки содержания ПСХ в нефармакопейном сырье, сборах и растительных композициях разрабатывались методики количественного определения на основе фармакопейных подходов. Предложена методика спектрофотометрического определения ПСХ в надземной части сосюреи спорной (*Saussurea controversa* DC) по реакции с антронсерным реактивом [26], резорциновая методика количественного определения суммы фруктозанов и фруктозы в новом сборе «Лорполифит» [27], пикриновый метод для определения суммарного содержания сахаров в коре коричника (*Cinnamotum*) [28], полисахаридов в чае, состоящем из побегов леспедецы двухцветной, листьев ортосифона тычиночного, листьев толокнянки [29], суммы свободных и связанных сахаров пикриновым методом в плодах облепихи крушиновидной [30, 31].

Гравиметрические методики разработаны для определения ПСХ в траве прозанника крапчатого (*Achyrophorus maculatus* L.) [32], водорастворимых ПСХ в траве растений рода галинзога (*Galinsoga*) [33], в траве икотника серого (*Berteroa incana* (L.) DC) [34], короставника полевого (*Knautia arvensis* (L.) Coult.) [35], листьях медуницы неясной (*Pulmonaria obscura* Dumort.) [36], траве черноголовки обыкновенной (*Prunella vulgaris* L.) [37].

В литературе также присутствует информация по модернизации фармакопейных методов количественного определения ПСХ. Так, был улучшен процесс экстракции методики гравиметрического определения ПСХ в листьях подорожника большого добавлением ультразвуковой ванны «Град 40-35» с частотой 35 КГц [38, 39].

В 2016–2018 гг. разработана экспрессная гравиметрическая методика количественного определения водорастворимых полисахаридов, основу которых составляет инулин (до 45%), в корнях лопуха большого (*Arctium lappa* L.), которая позволяет проводить анализ в течение 3 ч [40, 41]. Однако стоит отметить, что в фармакопейной статье ГФ РФ XIV «Лопуха большого корня» используется определение суммы полисахаридов в пересчете на фруктозу резорциновым СФМ методом.

За рубежом широко используется фенолсернистый метод СФМ определения полисахаридов из-за своей чувствительности и простоты по сравнению с антроновым, орциновым и резорциновым методами [42–44].

Перспективным является использование высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) для анализа полисахаридов. Предложены методика определения инулина в сухих во-

дных экстрактах из корней одуванчика и лопуха [45], в цикории растворимом натуральном [46] после ферментативного гидролиза методом ВЭЖХ с рефрактометрическим детектированием. Разработанная высокоспецифичная методика позволяет гарантировать соблюдение оптимального содержания БАС в сырье и может использоваться для количественного определения ПСХ в ЛРС, фармацевтических субстанциях растительного происхождения и лекарственных растительных препаратах. Показано, что метод ВЭЖХ с импульсным амперометрическим детектором и рефрактометрическим детектором является перспективным для анализа камедей [47].

Наряду с ВЭЖХ привлекает интерес анализ углеводов методом капиллярного электрофореза (КЭ). Оба метода имеют низкий предел качественного и количественного обнаружения и позволяют анализировать как дериватизированные, так и недериватизированные углеводы при небольшом расходе реактивов и малом количестве пробы для анализа [48]. Отсутствие многоступенчатой пробоподготовки, а также устойчивость внутренней поверхности кварцевого капилляра к агрессивным веществам и загрязнению компонентами анализируемых проб являются существенными достоинствами КЭ [48–50]. Известны методики определения моносахаридов (сахароза, глюкоза, фруктоза) с помощью КЭ с СФМ детектированием [49, 51–53]. Однако вследствие отсутствия в молекулах вышеперечисленных моносахаридов функциональных групп (за исключением нескольких гидроксильных), УФ-спектр поглощения этих соединений достаточно узок, и, соответственно, снижается чувствительность детектирования [49, 54]. Для решения данной проблемы предлагается дериватизация образцов или получение комплексных соединений с поливалентными металлами [55].

### Заключение

Фармакопейный контроль качества большинства ЛРС, содержащего ПСХ, подразумевает использование спектрофотометрических или гравиметрических методов. Для этих методик характерна трудоемкая длительная пробоподготовка, невысокая специфичность определения ПСХ. Появление современных инструментальных физико-химических методов, таких как ВЭЖХ и КЭ, позволяет значительно улучшить контроль качества ЛРС.

Целесообразным является разработка и включение в ФС новых высокоспецифичных методик.

Авторский коллектив выражает благодарность проекту повышения конкурентоспособности ведущих российских университетов среди ведущих мировых научно-исследовательских центров «5-топ 100».

### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

### Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest

### Литература

1. Карпук В.В. Фармакогнозия. Минск: БГУ, 2011; 340.
2. Оленников Д.Н., Кащенко Н.И. Полисахариды. Современное состояние изученности: экспериментально-научно-метрическое исследование. Химия растительного сырья. 2014; 1: 5–26. DOI: 10.14258/jcprm.1401005
3. Куркин В.А. Фармакогнозия: Самара: «Офорт», СамГМУ. 2016: 371–5.
4. Fiorito S. et al. Selenylated plant polysaccharides: A survey of their chemical and pharmacological properties. *Phytochemistry*. 2018; 153: 1–10. DOI: 10.1016/j.phytochem.2018.05.008
5. Jiao R. et al. The anti-oxidant and antitumor properties of plant polysaccharides. *The American J. of Chinese Medicine*. 2016; 44 (3): 463–88. DOI: 10.1142/S0192415X16500269
6. Qu J. et al. Hepatoprotective effect of plant polysaccharides from natural resources: A review of the mechanisms and structure-activity relationship. *International J. of Biological Macromolecules*. 2020; 161: 24–64. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2020.05.196
7. Государственная фармакопея РФ XIV изд. [Электронное издание]. Режим доступа: <http://femb.ru/femb>
8. Государственный реестр лекарственных средств Российской Федерации. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://grls.rosminzdrav.ru>
9. European Pharmacopoeia 10.2-th ed. [Electronic resource]. EDQM (European Directorate for the Quality of Medicines and Healthcare). 2019. Subscription access. Access mode: <http://online.edqm.eu/entry.htm>.
10. Дроздова И.Л. Выделение и химическое изучение полисахаридов травы донника рослого (*Melilotus altissimus* Thuill.). Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация. 2004; 1: 173–5.
11. Оленников Д.Н., Танхаева Л.М. Методика количественного определения суммарного содержания полисахаридов в семенах льна (*Linum usitatissimum* L.). Химия растительного сырья. 2007; 4: 85–90.
12. Оленников Д.Н., Танхаева Л.М. Методика количественного определения группового состава углеводного комплекса растительных объектов. Химия растительного сырья. 2006; 4: 29–33.
13. ОФС.1.2.3.0019.15 «Определение сахаров спектрофотометрическим методом». Государственная фармакопея РФ XIV изд. Том 1. [Электронное издание]. Режим доступа: <http://femb.ru/femb>
14. Самылина И.А. и др. Определение сахаров спектрофотометрическими методами. Фармация. 2009; 4: 3–5.
15. Государственная фармакопея Республики Беларусь. II изд. Том 2. Минск: Центр экспертиз и испытаний в здравоохранении, 2016.
16. Государственная фармакопея Республики Казахстан. Астана: Жибекжолы, 2015.

17. Оленников Д.Н., Танхаева Л.М. Разработка технологии получения экстракта подорожника большого сухого. Химия растительного сырья. 2006; 1: 49–54.
18. Оленников Д.Н., Танхаева Л.М. Методика количественного определения суммарного содержания полифруктанов в корнях лопуха (*Arctium* spp.). Химия растительного сырья. 2010; 1: 115–20.
19. Танхаева Л.М., Оленников Д.Н. Методика количественного определения суммарного содержания полифруктанов в корнях одуванчика лекарственного (*Taraxacum officinale* Wigg.). Химия растительного сырья. 2010; 2: 85–9.
20. Корж А.П. и др. Количественное определение полисахаридов в корневищах аира болотного. Фармация. 2011; 4: 24–6.
21. Никулин А.В., Терещенко Г.С., Потанина О.Г. Определение суммы полисахаридов и свободных сахаров в листьях мать-и-мачехи методом УФ-спектрофотометрии. Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. 2016; 19 (2): 3–7.
22. Ровкина К.И. и др. Разработка методики количественного определения полисахаридов листьев березы. Медицинский вестник Башкортостана. 2019; 14, 1 (79): 47–50.
23. Ровкина К.И. и др. Валидация спектрофотометрической методики количественного определения полисахаридов березы. Медицинский вестник Башкортостана. 2019; 14, 2 (80): 48–51.
24. Скалзубова Т.А. и др. Полисахариды в листьях и настое крапивы двудомной. Фармация. 2012; 2: 5–7.
25. Тринеева О.В., Сливкин А.И. Определение суммы полисахаридов и простых сахаров в листьях крапивы двудомной. Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация. 2017; 1: 164–9.
26. Авдеева Е.Ю., Краснов Е.А., Семенов А.А. Содержание полисахаридов в надземной части *Saussurea controversa* DC. Химия растительного сырья. 2015; 3: 43–8. DOI: 10.14258/jscrpm.201503583
27. Буханова У.Н., Попов Д.М., Селезнев Н.Г. Методика определения суммы фруктозанов и фруктозы в сборе «Лорполифит». Фармация. 2013; 1: 22–4.
28. Ненелева Е.В., Евдокимова О.В. Количественная оценка содержания сахаров в коре коричника. Перспективы развития современной медицины. Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. Воронеж, 2015; 2: 201–3.
29. Талал А.Д. Разработка методики количественного определения полисахаридов в чае, используемом при заболеваниях мочевого выделительной системы. Медико-фармацевтический журнал «Пульс». 2008; 10 (3): 479.
30. Тринеева О.В., Казьмина М.А., Сливкин А.И. Определение суммы полисахаридов и восстанавливающих моносахаридов в плодах облепихи крушиновидной различных способов консервации. Материалы VI Международной научно-методической конференции «Фармообразование-2016». Воронеж, изд. ВГУ, 2016: 547–51.
31. Тринеева О.В., Казьмина М.А., Сливкин А.И. Разработка и валидация методики определения суммы свободных и связанных простых сахаров в плодах облепихи крушиновидной. Разработка и регистрация лекарственных средств. 2017; 1: 138–43.
32. Бубенчикова В.Н., Малютин А.Ю. Стандартизация сырья прозанника крапчатого (*Achyrophorus maculatus* L.) по содержанию полисахаридов. «Университетская наука: взгляд в будущее». Материалы итоговой научной конференции сотрудников КГМУ, Центрально-Черноземного научного центра РАМН и отделения РАЕН, посвященного 78-летию Курского государственного медицинского университета, Курск, 7 февраля 2013 г. Том 2. Курск, 2013; 39–40.
33. Боева С.А., Бубенчикова В.Н. Разработка методики количественного определения суммы полисахаридов в траве рода галинзога (*Galinsoga*). Ученые записки Орловского государственного университета. Серия: Естественные, технические и медицинские науки. 2014; 6: 104–6.
34. Дроздова И.Л., Лупилина Т.И. Разработка методики количественного определения водорастворимых полисахаридов в траве икотника серого. Курский научно-практический вестник «Человек и его здоровье». 2014; 4: 91–6.
35. Дроздова И.Л., Денисова Н.Н. Разработка методики количественного определения водорастворимых полисахаридов в траве короставника полевого. Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Медицина. Фармация. 2016; 36, 26 (247): 114–9.
36. Казакова В.С. и др. Определение количественного состава полисахаридных соединений растений рода медуница. Научные результаты биомедицинских исследований. 2016; 2 (4): 73–7. DOI: 10.18413/2313-8955-2016-2-4-73-77
37. Королева Д.С. Разработка и валидация методики количественного определения водорастворимых полисахаридов в траве черноголовки лекарственной. Вестник фармации. 2018; 3 (81): 36–42.
38. Дьякова Н.А. и др. Разработка методики количественного определения водорастворимых полисахаридов и ее валидации. Современная фармация: проблемы и перспективы развития. 2015; 45–8.
39. Дьякова Н.А. и др. Рационализированная методика количественного определения водорастворимых полисахаридов и ее валидации. Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация. 2015; 2: 106–11.
40. Дьякова Н.А. и др. Исследования по разработке и валидации методики извлечения инулина из корней лопуха большого (*Arctium lappa* L.). Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия, Биология, Фармация. 2016; 2-С: 114–8.
41. Дьякова Н.А. Разработка и валидация экспресс-методики выделения и количественного определения водорастворимых полисахаридов листьев лопуха большого (*Arctium lappa* L.). Химия растительного сырья. 2018; 4: 81–7. DOI: 10.14258/jcprm.2018042195
42. Masuko T. et al. Carbohydrate analysis by a phenol-sulfuric acid method in microplate format. Analytical biochemistry. 2005; 339 (1): 69–72.
43. Zou Y. et al. Response surface methodology for optimization of the ultrasonic extraction of polysaccharides from *Codonopsis pilosula* Nannf. var. *modesta* LT Shen. Carbohydrate Polymers. 2011; 84 (1): 503–8.
44. Wang J. et al. Geographical origin discrimination and polysaccharides quantitative analysis of *Radix Codonopsis* with micro near-infrared spectrometer engine. J. of Innovative Optical Health Sciences. 2018; 11 (01): 1850004.
45. Хасанов В.В. и др. Количественное определение инулина в сухих водных экстрактах из корней одуванчика и лопуха. Новые достижения в химии и химической технологии растительного сырья. 2009; 2: 76–8.
46. Боков Д.О., Хромченкова Е.П., Сокурченко М.С., Васильев А.В., Бессонов В.В. Разработка методики определения инулина в цикории растворимом натуральном после ферментативного гидролиза методом высокоэффективной жидкостной хроматографии. Вопросы питания, 2017; 86 (5): 50–55.

47. Bokov D.O. et al. Physicochemical Features, Qualitative and Quantitative Analysis, Present Status and Application Prospects of Polysaccharide Gums. *International Journal of Pharmaceutical Quality Assurance*. 2020; 11 (01): 74–82.

48. Li S.P. et al. Capillary Electrophoresis of Herbal Carbohydrates. *Capillary Electromigration Separation Methods*. Elsevier. 2018: 373–96. DOI: 10.1016/B978-0-12-809375-7.00018-6

49. Якуба Ю.Ф., Марковский М.Г. Определение глюкозы, сахарозы и фруктозы методом капиллярного электрофореза. *Вопросы питания*. 2015; 1: 89–94.

50. Gamini A. et al. Use of Capillary Electrophoresis for Polysaccharide Studies and Applications. In: Schmitt-Kopplin P. (eds) *Capillary Electrophoresis. Methods in Molecular Biology*, vol. 1483. Humana Press, New York, NY, 2016. DOI: 10.1007/978-1-4939-6403-1\_17

51. Stefansson M., Novotny M. Modification of the electrophoretic mobility of neutral and charged polysaccharides. *Analytical chemistry*. 1994; 66 (20): 3466–71.

52. Kinoshita M. et al. Determination of molecular mass of acidic polysaccharides by capillary electrophoresis. *Biomedical Chromatography*. 2002; 16 (2): 141–5.

53. Taylor D.L. et al. Characterization of gellan gum by capillary electrophoresis. *Australian J. of Chemistry*. 2012; 65 (8): 1156–64.

54. Бирюлин С.И., Посокина Н.Е., Тришканева М.В. Выделение углеводов из растительного сырья и их идентификация с применением капиллярного электрофореза. *Овощи России*. 2019; 5: 84–7. DOI: 10.18619/2072-9146-2019-5-84-87

55. Chen J., Yang F., Guo H., Wu F., Wang X. Optimized hydrolysis and analysis of Radix Asparagi polysaccharide monosaccharide composition by capillary zone electrophoresis. *J. of Separation Science*. 2015; 38 (13): 2327–31. DOI: 10.1002/jssc.201500120

## References

- Karpuk V.V. *Pharmacognosy*. Minsk: BSU, 2011: 340 (in Russian)
- Olennikov D.N., Kashchenko N.I. Polysaccharides. Current state of knowledge: an experimental and scientometric investigation. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*. 2014; 1: 5–26. DOI: 10.14258/jcprm.1401005 (in Russian)
- Kurkin V.A. *Pharmacognosy*. Samara: «Etching», SamGMU. 2016: 371–5 (in Russian)
- Fiorito S. et al. Selenylated plant polysaccharides: A survey of their chemical and pharmacological properties. *Phytochemistry*. 2018; 153: 1–10. DOI: 10.1016/j.phytochem.2018.05.008
- Jiao R. et al. The anti-oxidant and antitumor properties of plant polysaccharides. *The American J. of Chinese Medicine*. 2016; 44 (3): 463–88. DOI: 10.1142/S0192415X16500269
- Qu J. et al. Hepatoprotective effect of plant polysaccharides from natural resources: A review of the mechanisms and structure-activity relationship. *International J. of Biological Macromolecules*. 2020; 161: 24–64. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2020.05.196
- The State Pharmacopoeia of The Russian Federation, XIV-ed. [Electronic resource]. Access mode: <http://femb.ru/feml> (in Russian)
- State Register of Medicines. The Russian Federation Ministry of Health [Electronic resource]. Access mode: <https://grls.rosminzdrav.ru> (in Russian)
- European Pharmacopoeia 10.2-th ed. [Electronic resource]. EDQM (European Directorate for the Quality of Medicines and Healthcare). 2019. Access mode: <http://online.edqm.eu/entry.htm>

10. Drozdova I.L. Isolation and chemical study of polysaccharides in the herb *Melilotus altissimus* Thuill. *Vestnik Voronezhskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Seriya: Khimiya. Biologiya. Farmatsiya*. 2004; 1: 173–5 (in Russian)

11. Olennikov D.N., Tankhaeva L.M. Method for the quantitative determination of the total content of polysaccharides in flax seeds (*Linum usitatissimum* L.). *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*. 2007; 4: 85–90 (in Russian)

12. Olennikov D.N., Tankhaeva L.M. Method for the quantitative determination of the group composition of the carbohydrate complex of plant objects. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*. 2006; 4: 29–33 (in Russian)

13. GPM.1.2.3.0019.15 «Determination of sugars by spectrophotometric method». The State Pharmacopoeia of The Russian Federation, XIV-ed. [Electronic resource]. Access mode: <http://femb.ru/feml> (in Russian)

14. Samylina I.A. et al. Determination of sugars by spectrophotometric methods. *Farmatsiya*. 2009; 4: 3–5 (in Russian)

15. State Pharmacopoeia of the Republic of Belarus. II ed. Vol.2. Minsk: Center for Expertise and Testing in Health Care, 2016. (in Russian)

16. State Pharmacopoeia of the Republic of Kazakhstan. Astana: ZhibekZholy, 2015 (in Russian)

17. Olennikov D.N., Tankhaeva L.M. Development of a technology for obtaining a dry extract of common plantain. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*. 2006; 1: 49–54 (in Russian)

18. Olennikov D.N., Tankhaeva L.M. Method for the quantitative determination of the total content of polyfructans in burdock roots (*Arctium* spp.). *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*. 2010; 1: 115–20 (in Russian)

19. Tankhaeva L.M., Olennikov D.N. Method for the quantitative determination of the total content of polyfructans in the roots of milk-govan (*Taraxacum officinale* Wigg.). *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*. 2010; 2: 85–9 (in Russian)

20. Korzh A.P. et al. Assay of polysaccharides in the sedge-cane (*Acorus calamus*) rhizomes. *Farmatsiya*. 2011; 4: 24–6 (in Russian)

21. Nikulin A.V., Tereshchenko G.S., Potanina O.G. Determination of polysaccharides and free sugars sum by uv-spectrofotometry in *Tussilago farfara* leaf. *Questions of biological, medical and pharmaceutical chemistry*. 2016; 19 (2): 3–7 (in Russian)

22. Rovkina K.I. et al. Development of a technique for the quantitative determination of polysaccharides in birch leaves. *Medical Bulletin of Bashkortostan*. 2019; 14, 1 (79): 47–50 (in Russian)

23. Rovkina K.I. et al. Validation of the spectrophotometric method for the quantitative determination of birch polysaccharides. *Medical Bulletin of Bashkortostan*. 2019; 14, 2 (80): 48–51 (in Russian)

24. Skalozubova T.A. et al. Polysaccharides in stinging nettle (*Urtica dioica*) leaves and infusion. *Farmatsiya*. 2012; 2: 5–7 (in Russian)

25. Trineeva O.V., Slivkin A.I. Determination of the sum of polysaccharides and simple sugars in the leaves of stinging nettle. *Vestnik Voronezhskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Seriya: Khimiya. Biologiya. Farmatsiya*. 2017; 1: 164–9 (in Russian)

26. Avdeeva E.Yu., Krasnov E.A., Semenov A.A. The content of polysaccharides in aboveground parts *Saussurea controversa* DC. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*. 2015; 3: 43–8. DOI: 10.14258/jcprm.201503583 (in Russian)

27. Bukhanova U.N., Popov D.M., Selezenev N.G. Procedure for determination of the sum of fructosans and fructose in the «Lorpolifit» herbal tea. *Farmatsiya*. 2013; 1: 22–4 (in Russian)

28. Neneleva E.V., Evdokimova O.V. Quantification of the sugar content in cinnamon bark. Prospects for the development of modern medicine. Collection of scientific papers on the basis of the international scientific and practical conference. Voronezh, 2015; 2: 201–3 (in Russian)
29. Talal A.D. Development of a method for the quantitative determination of polysaccharides in tea used for the urinary system diseases. Medical and pharmaceutical journal «Pulse». 2008; 10 (3): 479 (in Russian)
30. Trineeva O.V., Kazmina M.A., Slivkin A.I. Determination of the sum of polysaccharides and reducing monosaccharides in the fruits of sea buckthorn in various ways of conservation. Materials of the VI-th International Scientific and Methodological Conference «Pharmaceutical Education-2016», Voronezh State University. Voronezh, 2016: 547–51 (in Russian)
31. Trineeva O.V., Kazmina M.A., Slivkin A.I. Development and validation of methods for determining the amount of free and related simple sugars in the fruit of sea buckthorn. Razrabotka i registratsiya lekarstvennikh sredstv. 2017; 1: 138–43. (in Russian)
32. Bubenchikova V.N., Malyutina A.Yu. Standardization of *Achyrophorus maculatus* L. raw material by polysaccharide content. «University Science: a look into the future». Materials of the final scientific. conf. employees of KSMU, Central Chernozem scientific. center of RAMS and branch of RANS, dedicated to the 78-th anniversary of Kursk State Medical University, Kursk, 7 Feb 2013. Kursk, 2013; 2: 39–40 (in Russian)
33. Boeva S.A., Bubenchikova V.N. Development of a method for quantitative determination of the amount of polysaccharides in the herb of the genus Galinsoga. Scientific notes of the Oryol State University. Series: Natural, technical and medical sciences. 2014; 6: 104–6 (in Russian)
34. Drozdova I.L., Lupilina T.I. Development of a method for the quantitative determination of water-soluble polysaccharides in hoary alyssum herb. Kursk Scientific and Practical Bulletin «Man and His Health». 2014; 4: 91–6 (in Russian)
35. Drozdova I.L., Denisova N.N. Development of methods of quantitative determination of water-soluble polysaccharides in *Knautia arvensis* herb. Scientific statements of the Belgorod State University. Series: Medicine. Pharmacy. 2016; 36, 26 (247): 114–9 (in Russian)
36. Kazakova V.S. et al. Determination of the quantitative composition of polysaccharide compounds of plants of the genus lungwort. Scientific results of biomedical research. 2016; 2 (4): 73–7. DOI: 10.18413/2313-8955-2016-2-4-73-77 (in Russian)
37. Koroleva D.S. Development and validation of a method for the quantitative determination of water-soluble polysaccharides in the herb of blackhead officinalis. Vestnik Farmatsii. 2018; 3 (81): 36–42 (in Russian)
38. Dyakova N.A. et al. Development of a method for the quantitative determination of water-soluble polysaccharides and its validation. Modern pharmacy: problems and development prospects. 2015; 45–8 (in Russian)
39. Dyakova N.A. et al. Rationalized method for quantitative determination of water-soluble polysaccharides and its validation. Vestnik Voronezhskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Seriya: Khimiya. Biologiya. Farmatsiya. 2015; 2: 106–11 (in Russian)
40. Dyakova N.A. et al. Research on the development and validation of methods for extracting inulin from burdock roots (*Arctium lappa* L.). Vestnik Voronezhskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Seriya: Khimiya. Biologiya. Farmatsiya. 2016; 2-C: 114–8 (in Russian)
41. Dyakova N.A. Development and validation of a rapid method for the isolation and quantitative determination of water-soluble polysaccharides in burdock leaves (*Arctium lappa* L.). Khimiya rastitel'nogo syr'ya. 2018; 4: 81–7. DOI: 10.14258/jcprm.2018042195 (in Russian)
42. Masuko T. et al. Carbohydrate analysis by a phenol-sulfuric acid method in microplate format. Analytical biochemistry. 2005; 339 (1): 69–72.
43. Zou Y. et al. Response surface methodology for optimization of the ultrasonic extraction of polysaccharides from *Codonopsis pilosula* Nannf. var. *modesta* LT Shen. Carbohydrate Polymers. 2011; 84 (1): 503–8.
44. Wang J. et al. Geographical origin discrimination and polysaccharides quantitative analysis of Radix *Codonopsis* with micro near-infrared spectrometer engine. J. of Innovative Optical Health Sciences. 2018; 11 (01): 1850004.
45. Khasanov V.V. et al. Quantification of inulin in dry aqueous extracts from dandelion and burdock roots. New achievements in chemistry and chemical technology of plant raw materials. 2009; 2: 76–8 (in Russian)
46. Bokov D.O., Khromchenkova E.P., Sokurenko M.S., Vasilev A.V., Bessonov V.V. Development of a technique for the determination of inulin in natural instant chicory after enzymatic hydrolysis by high-performance liquid chromatography. Voprosy pitaniia. 2017; 86 (5): 50–5 (in Russian)
47. Bokov D.O. et al. Physicochemical Features, Qualitative and Quantitative Analysis, Present Status and Application Prospects of Polysaccharide Gums. International J. of Pharmaceutical Quality Assurance. 2020; 11 (01): 74–82.
48. Li S.P. et al. Capillary Electrophoresis of Herbal Carbohydrates. Capillary Electromigration Separation Methods. Elsevier. 2018: 373–96. DOI: 10.1016/B978-0-12-809375-7.00018-6
49. Yakuba Yu.F., Markovskiy M.G. The determination of glucose, sucrose and fructose by the method of capillary electrophoresis. Voprosy pitaniia (Problems of Nutrition). 2015; 1: 89–94.
50. Gamini A. et al. Use of Capillary Electrophoresis for Polysaccharide Studies and Applications. In: Schmitt-Kopplin P. (eds) Capillary Electrophoresis. Methods in Molecular Biology, vol 1483. Humana Press, New York, NY, 2016. DOI: 10.1007/978-1-4939-6403-1\_17
51. Stefansson M., Novotny M. Modification of the electrophoretic mobility of neutral and charged polysaccharides. Analytical chemistry. 1994; 66 (20): 3466–71.
52. Kinoshita M. et al. Determination of molecular mass of acidic polysaccharides by capillary electrophoresis. Biomedical Chromatography. 2002; 16 (2): 141–5.
53. Taylor D.L. et al. Characterization of gellan gum by capillary electrophoresis. Australian J. of Chemistry. 2012; 65 (8): 1156–64.
54. Biryulin S.I., Posokina N.E., Trishkaneva M.V. The allocation of carbohydrates from vegetable raw materials and their identification with the use of capillary electrophoresis. Vegetable crops of Russia. 2019; 5: 84–7 (in Russian) DOI: 10.18619/2072-9146-2019-5-84-87
55. Chen J., Yang F., Guo H., Wu F., Wang X. Optimized hydrolysis and analysis of Radix *Asparagi* polysaccharide monosaccharide composition by capillary zone electrophoresis. J. of Separation Science. 2015; 38 (13): 2327–31. DOI: 10.1002/jssc.201500120

Поступила 16 сентября 2020 г.

Received 16 September 2020

Принята к публикации 10 ноября 2020 г.

Accepted 10 November 2020