

А. А. Осипова, А. А. Погоцкая

**АНАЛИЗ МЕТОДОВ КАЧЕСТВЕННОГО ОБНАРУЖЕНИЯ
И КОЛИЧЕСТВЕННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛИСАХАРИДОВ
В ЛЕКАРСТВЕННОМ РАСТИТЕЛЬНОМ СЫРЬЕ****Витебский государственный ордена Дружбы народов медицинский университет,
г. Витебск, Республика Беларусь**

В статье проанализированы результаты фармакогностических исследований отечественных и зарубежных авторов, данные современной научной литературы и обзорных статей, касающихся изучения растительных полисахаридов, в частности методов их выделения, качественного обнаружения и количественного определения в лекарственном растительном сырье (ЛРС). Приведены методы последовательного выделения различных групп полисахаридов из ЛРС. Обсуждены способы и оптимальные условия качественного обнаружения моносахаридных компонентов в лекарственных растениях с помощью метода тонкослойной хроматографии (ТСХ). Представлены фармакопейные методы количественного определения полисахаридов в ЛРС, исследования по разработке и модификации методик определения содержания полисахаридов методами химического (гравиметрия) анализа и физико-химическими (спектрофотометрия, высокоэффективная жидкостная хроматография (ВЭЖХ), капиллярный электрофорез (КЭ)) методами. Научные данные, проанализированные и обобщенные нами в ходе исследования, свидетельствуют о широком применении различных способов количественного определения комплекса полисахаридов и их компонентов, а также доказывают перспективность использования современных инструментальных методов анализа (ВЭЖХ, КЭ) при контроле качества ЛРС, содержащего углеводы.

Ключевые слова: полисахариды, моносахариды, лекарственное растительное сырье, тонкослойная хроматография, количественное определение.

ВВЕДЕНИЕ

Полисахариды представляют собой высокомолекулярные соединения, образующиеся в результате конденсации более 5 моносахаридов, соединенных между собой гликозидными связями, и формирующие линейные или разветвленные цепи.

Помимо технологических преимуществ за счет эмульгирующих, сгущающих, увлажняющих, суспендирующих свойств, полисахариды представляют интерес в медицине и фармации как вещества, обладающие фармакологической активностью [1]. Среди широкого спектра фармакологической активности полисахаридов – антиоксидантный, иммуномодулирующий, антимикробный, противоопухолевый, противовирусный, ранозаживляющий, антикоагулянтный эффекты. Кроме того, полисахариды эффективны в лечении сахарного диабета и заболеваний сердечно-сосудистой системы [2–5].

Актуальной задачей остается изуче-

ние лекарственных растений и ЛРС, содержащих полисахариды, выбор метода и подбор оптимальных условий анализа для конкретного ЛРС. Целью данного исследования является анализ научной литературы, отражающей информацию о методах выделения полисахаридов, их обнаружения и количественного определения, являющихся неотъемлемой частью фармакогностического анализа ЛРС.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В работе использовали методы анализа научной литературы – метод деконструкции, метод апперцепирования и аспектный анализ. Анализировали статьи Государственной фармакопеи Республики Беларусь (ГФ РБ) и Государственной фармакопеи Российской Федерации (ГФ РФ), а также статьи по теме исследования, опубликованные в научных изданиях по медицинской и фармацевтической отраслям, базе данных PubMed, научной электронной библиотеке eLibrary.ru.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Выделение полисахаридов

Поскольку полисахариды присутствуют в растении в виде различных групп соединений, их выделение из растительного сырья осуществляется поэтапно.

Вначале извлекают свободные углеводы и водорастворимые полисахариды (ВРПС), для чего используется экстракция горячей водой. Следует учитывать влияние на экстракцию и выход полисахаридов различных факторов, таких как время и температура экстракции, соотношение ЛРС–экстрагент, а также кратность экстракции [6]. В исследовании, проведенном Д. Н. Оленниковым и Л. М. Танхаевой, выделение свободных углеводов осуществляли трехкратной экстракцией 80%-м спиртом этиловым, а ВРПС затем экстрагировали водой, что позволяло извлечь ВРПС из сырья практически полностью (94–97%) [7].

Следующим этапом является извлечение пектиновых веществ с использованием, как правило, растворов органических кислот, поскольку данная группа соединений растворима в слабокислых растворах. В данном случае подходящим экстрагентом является 0,5% раствор щавелевой кислоты, также используют смесь 0,5% раствора щавелевой кислоты и оксалата аммония (1 : 1) [6–8].

Для выделения гемицеллюлоз из растительного сырья используются растворы неорганических оснований и основных солей, чаще всего – 5%-й раствор гидроксида калия или натрия. В исследовании Бубенчикова Р. А. для выделения гемицеллюлозы А использовался 10%-й раствор гидроксида натрия, а гемицеллюлозу Б извлекали 96%-м этиловым спиртом после предварительного осаждения гемицеллюлозы А ледяной уксусной кислотой [8].

В большинстве случаев при качественном и количественном анализе полисахаридов проводят гидролиз до моносахаридов. Широко используется гидролиз серной [9, 10] или трифторуксусной [11–13] кислотами, однако также известно исследование, где при анализе полисахаридов методом капиллярного электрофореза на стадии пробоподготовки в качестве гидролизующего агента выступала хлористоводородная кислота [14]. Полнота гидролиза зависит от времени гидролиза, concentra-

ции гидролизующего агента, температуры нагревания водяной бани [15]. Влияние всех параметров устанавливается экспериментальным путем для конкретного ЛРС. В исследовании [16] Д. О. Боков и соавторы используют ферментативный гидролиз для определения содержания инулина в цикории растворимом натуральном методом ВЭЖХ с рефрактометрическим детектированием.

Качественное обнаружение полисахаридных компонентов

Обнаружение полисахаридов в ЛРС, как правило, осуществляется с помощью хроматографического анализа. В некоторых исследованиях изучение моносахаридного состава осуществляли методами нисходящей и восходящей бумажной хроматографии [17–19], однако в большинстве исследований используется тонкослойная хроматография [8, 10, 11, 20–22]. Условия хроматографического разделения устанавливаются экспериментальным путем (таблица 1).

Для проявления моносахаридов на хроматограммах достаточно часто используют анилинфталатный реактив, состоящий из анилина, фталевой кислоты и бутанола, однако такой состав обуславливает высокую токсичность реагента [8, 10, 17]. В одном из исследований авторы О. В. Тринеева и А. И. Сливкин разработали и запатентовали новый состав реактива, заменив анилин на сульфаниламид, а бутанол – на этиловый спирт, что привело к снижению токсичности проявителя [23, 24]. Для качественного обнаружения моносахаридов также используется реактив с составом анилин – дифениламин – фосфорная кислота [25]. В зарубежных исследованиях упоминается о проявлении моносахаридов на хроматограммах раствором 0,5% тимоло и 5% серной кислоты в этаноле [11, 22].

Количественное определение полисахаридов в ЛРС

Гравиметрический метод

Предложено большое количество методик количественного определения полисахаридов с применением химических и физико-химических методов анализа.

В ГФ РБ представлена гравиметрическая методика количественного определения полисахаридов, используемая при

Таблица 1. – Условия хроматографического определения моносахаридного состава растений

Анализируемое растение	Состав подвижной фазы	Проявляющий реагент (состав)
Крапива двудомная Облепиха крушиновидная	н-бутанол – ледяная уксусная кислота – вода (4 : 1 : 2)	сульфаниламид – о-фталевая кислота – этанол
Герань кроваво-красная Девясил иволистный Фиалка собачья	нейтральные сахара: н-бутанол – пиридин – вода (6 : 4 : 3) кислые сахара: этилацетат – кислота муравьиная – вода – кислота уксусная (18 : 1 : 4 : 3)	анилинофталатный реактив (анилин – фталевая кислота – бутанол)
Малина обыкновенная	н-бутанол – пиридин – вода (6 : 4 : 3)	анилинофталатный реактив
Смородина чёрная	н-бутанол – уксусная кислота – вода (4 : 1 : 5)	анилинофталатный реактив и 1% раствор резорцина в этаноле с 2М кислотой соляной (1 : 9)
Эхинацея пурпурная	ацетонитрил – вода (8 : 15)	тимол – этанол – серная кислота
Оперкулина крупноплодная	этилацетат – муравьиная кислота – ледяная уксусная кислота – вода (100 : 11 : 11 : 27)	тимол – этанол – серная кислота

стандартизации слоевищ ламинарии, листьев мать-и-мачехи, листьев подорожника большого и травы череды [26]. В ГФ РФ XV издания гравиметрическое определение полисахаридов описано для травы алтея лекарственного [27]. ЛРС экстрагируют водой, далее полисахариды из рас-

твора осаждают 96% спиртом этиловым, полученный осадок отделяют, промывают смесью органических растворителей и высушивают до постоянной массы. Условия гравиметрического определения полисахаридов в фармакопейном ЛРС представлены в таблице 2.

Таблица 2. – Условия гравиметрического определения полисахаридов в ЛРС согласно ГФ РБ и ГФ РФ

Условия определения	ГФ РБ			ГФ РФ
	Ламинарии слоевища	Мать-и-мачехи листья, подорожника большого листья	Череды трава	Алтея лекарственного трава
Соотношение ЛРС – экстрагент	1 : 10			1 : 8
Экстракция	Кипячение с обратным холодильником			Перемешивание на магнитной мешалке при $t = 100-105\text{ }^{\circ}\text{C}$
Общее время экстракции, ч	2,5			7
Кратность экстракции	5			7
Соотношение извлечение – спирт этиловый 96%	1 : 1	1 : 3	1 : 3	1 : 2

В зависимости от исследуемого ЛРС условия определения могут отличаться. Наиболее известным методом выделения полисахаридов является экстракция горячей водой, однако в некоторых источниках описывается, например, использование на стадии экстракции магнитной мешалки [27], ультразвуковой ванны [28], настаивание после экстракции в течение 12 часов [29]. На этапе осаждения полисахаридов

может использоваться одно-, двух-, -трехкратный объем 96% спирта, хотя наиболее оптимальным считается использование трехкратного количества раствора осадителя.

В одном из исследований Z. Hromádková и соавторы доказали, что экстракция с помощью ультразвука обеспечивает больший выход веществ за более короткое время и при более низких температурах

благодаря разрушению клеточных стенок и усиленному массообмену компонентов клетки, в частности полисахаридов [30]. Разработаны экспрессные методики количественного определения полисахаридов с применением ультразвуковой ванны для листьев лопуха большого [28], корней одуванчика лекарственного [31], корней девясила высокого [32], корней подсолнечника однолетнего [33]. Методика позволяет интенсифицировать и ускорить процесс выделения комплекса ВРПС, а также увеличить выход определяемых БАВ.

Гравиметрический метод является длительным и трудоемким, а также предполагает выделение комплекса полисахаридов, что не позволяет установить количественное содержание индивидуальных компонентов.

Спектрофотометрический метод

В зависимости от цветных реакций, используемых в данном методе, известно несколько способов спектрофотометрии.

В основу пикринового метода положена реакция сахаров с пикриновой кислотой. При этом образуется пикраминовая кислота – продукт восстановления сахаром группы $-\text{NO}_2$ до $-\text{NH}_2$ [27]. Недостатком метода является низкая специфичность, поскольку ЛРС, содержащее полисахариды, содержит и другие группы БАВ, способные участвовать в окислительно-восстановительных реакциях, вследствие чего результаты спектрофотометрического определения пикриновым методом могут оказаться завышенными [20].

Антроновый метод основан на реакции, протекающей между гидроксиметилфурфуролом и антроном, в результате чего образуется комплекс синевато-зеленого цвета. Гидроксиметилфурфурол является продуктом дегидратации моносахаридов, образующихся при гидролизе полисахаридов в сильноокислой среде.

Согласно ГФ РФ, содержание сахаров пересчитывается на стандарт глюкозы, что является недостатком, поскольку отсутствие в составе растения данного моносахарида может привести к получению искаженных результатов [15]. Имеются исследования об определении полисахаридов антроновым методом в пересчете на галактуроновую кислоту [34], рамнозу [15] и ксилозу [35]. Антроновый метод является более специфичным по отношению к сахарам, поскольку альдегидные функции

ональные группы достаточно редко встречаются в составе соединений из других групп БАВ [20].

Суть орцинового метода заключается в образовании фурфурола из пентоз в результате отщепления воды при их нагревании. Фурфурол при этом реагирует с орцином и хлоридом железа (III) с образованием зеленой окраски. Метод является специфичным для пентасахаридов.

Указанные методы описаны в ГФ РФ (общая фармакопейная статья «Определение сахаров спектрофотометрическим методом») [27] и используются во многих исследованиях для проведения сравнительного анализа количественного содержания полисахаридов в ЛРС [20, 21, 36], а также для модификации условий количественного определения для конкретного ЛРС.

Фенолсернистый метод базируется на реакции взаимодействия сахаров с фенолом и концентрированной серной кислотой с образованием окрашенного продукта реакции.

Авторы Е. И. Гулина, Ю. А. Николаева и А. В. Зыкова разработали и валидировали методики определения сахаров в траве сосюреи иволистной, одна из которых основана на общеизвестной реакции взаимодействия продуктов гидролиза полисахаридов с серной кислотой и фенолом, во второй методике вместо фенола используют его производное – 3,5-диметилфенол [37].

В ряде исследований экспериментально подбираются условия выделения полисахаридов. В одном из таких исследований выделение полисахаридов осуществляли с помощью раствора гидроксида натрия после предварительной очистки от пигментов петролейным эфиром и метанолом. Экстракция проводилась при комнатной температуре с использованием ультразвуковой ванны [11].

Согласно литературным данным, измерение оптической плотности продукта реакции сахаров с фенолом и серной кислотой проводилось при различных длинах волн (480–490 нм) в пересчете на глюкозу, галактозу, мальтозу, галактуроновую кислоту [11, 22, 37–39].

Разработана методика определения кислых полисахаридов с помощью карбазольного метода, основанная на взаимодействии уроновых кислот с карбазолом

в кислой среде с образованием продуктов реакции, имеющих ярко-красную окраску. Методика использована для количественного анализа урсоловых кислот в траве донника лекарственного [12], определения кислых полисахаридов в корневищах айра болотного [40].

Существует методика количественного анализа полифруктанов по реакции резорцина с фруктозой, образующейся при гидролизе полисахаридов типа инулина, в кислой среде с последующим измерением оптической плотности полученного окрашенного раствора. Методика описана для корней лопуха [41], корней одуванчика [42], корневищ и корней девясила высокого [43], доказана ее воспроизводимость.

В одном из исследований разработана и валидирована методика количественного определения полисахаридов в готовой лекарственной форме на основе растительных компонентов – таблетках Иммунос, содержащих сухие экстракты астрагала монгольского и девясила высокого. Анализ основан на экстракции полисахаридов водой из измельченных таблеток, образовании комплекса полисахаридов с 8-гидроксихинолином в кислой среде и последующем измерении оптической плотности полученного комплекса. В качестве стандарта использовался раствор глюкозы [44].

Для спектрофотометрического определения сульфатированных полисахаридов (каррагинаны, фукоиданы) разработаны методики, основанные на образовании комплекса полисахаридов с метиленовым синим. Молекулы сульфатированных полисахаридов имеют отрицательный заряд в широком диапазоне pH, за счет чего они могут образовывать комплексы с органическими катионами. Образование комплекса с катионным красителем метиленовым синим приводит к батохромному сдвигу в видимой области спектра.

Автором Н. S. Soedjak разработан количественный метод определения каррагинанов и других анионных гидроколлоидов на основе изменения видимого спектра поглощения метиленового синего при связывании с полианионами. Авторами был получен комплекс каррагинанов, выделенных из красных морских водорослей, с метиленовым синим, в результате чего образование комплекса проявлялось увели-

чением оптической плотности при 559 нм и уменьшением максимумов поглощения свободного красителя при 610 и 664 нм. Авторы доказали пропорциональность поглощения комплекса при длине волны 559 нм к концентрации полианионов и, следовательно, возможность использования данного метода для количественного определения полимеров [45].

Известна методика определения сульфатированных полисахаридов с помощью твердофазной колориметрии. Образование комплекса фукоиданов с метиленовым синим осуществляли на фильтровальной бумаге, после чего окрашенные комплексы экстрагировали из образовавшихся пятен и определяли оптическую плотность полученных растворов при длине волны 663 нм. Авторы также исследовали возможность использования программного обеспечения для обработки изображений с целью последующего определения количества фукоидана в окрашенном пятне [46].

Спектрофотометрические методы позволяют определить общее содержание моносахаридов – свободных и связанных – в ЛРС, однако основным недостатком является невозможность установления компонентного состава полисахаридов и преобладания конкретных индивидуальных веществ (моносахаридов).

Денситометрический метод

Метод сводится к обработке в компьютерных программах цифровых изображений, полученных путем сканирования хроматограмм после предварительного хроматографирования, обработки и детектирования. Денситометрически определено содержание полисахаридных компонентов в надземной части фиалки собачьей [8]. Исследование количественного содержания полисахаридных компонентов в плодах облепихи крушиновидной и листьях крапивы двудомной привело к получению результатов, сопоставимых с полученными при использовании фармакопейной методики определения сахаров пикриновым способом (согласно ГФ РФ) [20, 21].

Высокоэффективная жидкостная хроматография

Перспективным методом количественного определения свободных и связанных сахаров считается ВЭЖХ. Метод универсален, отличается высокой чувствительностью и селективностью, может использоваться одновременно для определения

кислых, нейтральных и основных сахаров [47]. В ВЭЖХ в качестве подвижных фаз используют смеси ацетонитрил – вода в различных соотношениях [9, 14, 48], ацетонитрил – фосфатный буфер [13], вода для хроматографии [12], ацетонитрил – аммония ацетат [49].

Выбор детектора зависит от физико-химических свойств определяемых веществ. Рефрактометрический детектор отличается универсальностью и неразрушающими свойствами, однако определение показателя преломления не всегда отвечает требованиям современного анализа в отношении чувствительности и/или селективности [49]. Рефрактометрический детектор используется в случае, если показатель преломления аналита отличается от элюента.

Трудности в использовании УФ- и флуоресцентного детекторов связаны с тем, что в структуре моносахаридов отсутствуют хромофоры или флуорофоры. Поэтому для определения связанных моносахаридов необходима их предварительная дериватизация. Одним из самых распространенных дериватирующих агентов является РМР (1-фенил-3-метил-5-пиразолон), который реагирует с восстанавливающими сахарами в мягких условиях, не требуя кислотного катализатора и не вызывая изомеризации. Производные моносахаридов обладают сильным УФ-поглощением и более высокой гидрофобностью по сравнению с их нативной формой, что является важным аспектом при разделении методом ВЭЖХ и использовании УФ-детекции [49].

В анализе сложных полисахаридов для повышения чувствительности и специфичности может быть использован метод ВЭЖХ-МС (масс-спектрометрии) с дериватизацией РМР [49].

Предложены методики определения сахаров в надземной части фиалки Патрэна, траве донника лекарственного, лабазниках вязолистном и шестилепестном, корнях дягиля китайского, в почках и листьях черной смородины [9, 12–14, 48]. Разработана методика определения сахаров методом ВЭЖХ-МС в трутовике зонтичном [49].

Известна методика количественного определения моносахаридов в ЛРС методом высокоэффективной тонкослойной хроматографии, установлены оптимальные условия хроматографического разде-

ления. Методика апробирована на листьях крапивы двудомной и плодах облепихи крушиновидной. Авторами подтверждено, что данная методика является пригодной для определения моносахаридов при совместном присутствии и может использоваться при контроле качества ЛРС, индивидуальных или комплексных препаратов, фармацевтических субстанций и биологически активных добавок [23].

Капиллярный электрофорез

Наряду с ВЭЖХ привлекает внимание КЭ как метод исследования полисахаридного состава растений. Среди преимуществ КЭ, по сравнению с ВЭЖХ, следует отметить меньшую стоимость оборудования и разделительных колонок, использование в составе подвижных фаз экологически безопасных электролитов, повышенную селективность метода [50]. Кроме того, КЭ в анализе углеводов отличается своей быстротой определения, способностью анализировать сложные смеси углеводов с высокой чувствительностью, минимальным использованием реагентов.

Трудности, возникающие при использовании КЭ как метода определения углеводного состава, связаны с особенностями их строения, а именно отсутствием в молекулах функциональных групп, за исключением нескольких гидроксильных, из-за чего чувствительность детектирования низкая, поскольку молекулы поглощают узкий спектр УФ (190–210 нм) [6, 51]. В случае анализа растительных объектов, которые, как правило, содержат комплекс БАВ, результаты анализа могут оказаться сильно искаженными, что понизит их достоверность.

Для анализа растительных полисахаридов предпочтение отдается использованию косвенного способа детектирования, позволяющего достигать необходимых пределов обнаружения. Данный способ возможен при использовании электролита с высоким значением рН, содержащего анионы, флуоресцирующие либо поглощающие в УФ-диапазоне (сорбат, триптофан, 1-нафтилацетат). В сильнощелочных условиях гидроксильные группы полисахаридов могут быть ионизированы. Они, как правило, приобретают отрицательный заряд, поэтому для анализа используют отрицательное напряжение [51]. Такие условия используются для разделения не-

дериватизированных углеводов. Авторы О. В. Тринеева и А. И. Сливкин проводили количественное определение сахаров в плодах облепихи с использованием фонового электролита на основе сорбата калия ($P_n = 12,1$) с добавкой цетилтриметиламмония бромида [20]. Аналогичные условия использовались О. В. Тринеевой при количественном определении сахаров в листьях крапивы двудомной [21].

Наиболее часто при обнаружении углеводов методом КЭ используется предварительная дериватизация, например, реакция конденсации моносахаридов с РМР [14, 52].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Учитывая особенности физико-химических свойств полисахаридов, приведены методы выделения различных групп полисахаридов из ЛРС. Наиболее оптимальным способом выделения полисахаридов является последовательная экстракция с помощью различных растворителей в следующем порядке: свободные углеводы – ВРПС – пектиновые вещества – гемицеллюлоза А – гемицеллюлоза Б. Обсуждены способы и оптимальные условия качественного обнаружения моносахаридных компонентов в лекарственных растениях с помощью метода ТСХ. Основными условиями, учитываемыми при проведении ТСХ, являются состав подвижной фазы и проявляющего реактива. Приведены фармакопейные методы количественного определения полисахаридов в ЛРС. Представлены исследования по разработке и модификации методик определения содержания полисахаридов гравиметрическим и спектрофотометрическими методами. Отражены исследования полисахаридов методами ВЭЖХ, КЭ, сведения об использовании в анализе углеводов высокоэффективной тонкослойной хроматографии, денситометрии. Научные данные, проанализированные и полученные в ходе исследования, свидетельствуют о широком применении различных способов количественного определения комплекса полисахаридов и их компонентов, а также доказывают перспективность использования современных инструментальных методов анализа (ВЭЖХ, КЭ) при контроле качества ЛРС, содержащего полисахариды.

SUMMARY

A. A. Osipova, A. A. Pahotskaya
ANALYSIS OF METHODS FOR
QUALITATIVE DETECTION AND ASSAY
OF POLYSACCHARIDES CONTAINED
IN MEDICINAL PLANT RAW MATERIAL

The article analyzes the results of pharmacognostic studies of domestic and foreign authors, data from modern scientific literature and review articles related to the study of plant polysaccharides, in particular methods of their isolation, qualitative detection and assay in medicinal plant raw material. Methods for the sequential isolation of different groups of polysaccharides from medicinal plant raw material are presented. Methods and optimal conditions for qualitative detection of monosaccharide components in medicinal plants using thin-layer chromatography (TLC) are discussed. Pharmacopoeial methods of polysaccharides assay in medicinal plant raw material, research on the development and modification of methods for determining the content of polysaccharides by chemical (gravimetry) analysis and physico-chemical (spectrophotometry, high-performance liquid chromatography (HPLC), capillary electrophoresis (CE)) methods are presented. The scientific data analyzed and summarized during the study indicate widespread use of various methods of polysaccharides complex assay and their components, and also prove the prospect of using modern instrumental methods of analysis (HPLC, CE) in the quality control of medicinal plant raw material containing carbohydrates.

Keywords: polysaccharides, monosaccharides, medicinal plant raw material, thin-layer chromatography, assay.

ЛИТЕРАТУРА

1. Plant-based polysaccharides and their health functions / D. Singh, A. Rajput, A. Bhatia [et al.] // Functional foods in health and disease. – 2021. – Vol. 11, N 4. – P. 179–200. – DOI: 10.31989/ffhd.v11i5.773.
2. Govindarajan, S. Biological Activities of Plant Polysaccharides, Mechanism of Action and Biomedical Applications / S. Govindarajan, A. Noor // Research journal of biotechnology. – 2021. – Vol. 16, N 7. – P. 255–272. – DOI: 10.25303/167rjbt25521.
3. Cardiovascular Protective Effects

- of Plant Polysaccharides: A review / X. Dong, M. Zhou, Y. Li [et al.] // *Frontiers in pharmacology*. – 2021. – Vol. 12. – DOI: 10.3389/fphar.2021.783641. – URL: <https://www.frontiersin.org/journals/pharmacology/articles/10.3389/fphar.2021.783641/full> (date of access: 10.01.2026).
4. Antioxidant Activities of Natural Polysaccharides and Their Derivatives for Biomedical and Medicinal Applications / L. Bai, D. Xu, Y. M. Zhou [et al.] // *Antioxidants*. – 2022. – Vol. 11, N 12. – DOI: 10.3390/antiox11122491. – URL: <https://www.mdpi.com/2076-3921/11/12/2491> (date of access: 10.01.2026).
 5. Mohammed, A. S. A. Polysaccharides; Classification, Chemical Properties, and Future Perspective Applications in Fields of Pharmacology and Biological Medicine (A Review of Current Applications and Upcoming Potentialities) / A. S. A. Mohammed, M. Naveed, N. Jost // *Journal of polymers and the environment*. – 2021. – Vol. 29, N 8. – P. 2359–2371. – DOI: 10.1007/s10924-021-02052-2. – URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10924-021-02052-2#citeas> (date of access: 10.01.2026).
 6. Бирюлин, С. И. Выделение углеводов из растительного сырья и их идентификация с применением капиллярного электрофореза / С. И. Бирюлин, Н. Е. Посокина, М. В. Тришканева // *Овощи России*. – 2019. – № 5. – С. 84–87. – DOI: 10.18619/2072-9146-2019-5-84–87.
 7. Оленников, Д. Н. Методика количественного определения группового состава углеводного комплекса растительных объектов / Д. Н. Оленников, Л. М. Танхаева // *Химия растительного сырья*. – 2006. – № 4. – С. 29–33.
 8. Бубенчиков, Р. А. Фенольные соединения и полисахариды фиалки собачьей / Р. А. Бубенчиков // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия, Биология. Фармация*. – 2004. – № 1. – С. 156–159.
 9. Мартынов, А. М. Фенольные соединения и водорастворимые полисахариды фиалки Патрэна / А. М. Мартынов, Т. Д. Даргаева // *Сибирский медицинский журнал*. – 2009. – Т. 90, № 7. – С. 213–215.
 10. Бубенчикова, В. Н. Состав и отхаркивающая активность водорастворимых полисахаридных комплексов девясила иволистного / В. Н. Бубенчикова, А. В. Азарова // *Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки*. – 2011. – № 9. – С. 189–191.
 11. Optimization and use of a spectrophotometric method for determining polysaccharides in *Echinacea purpurea* / N. K. Glavač, I. J. Kosir, J. Rode, S. Kreft // *Central European journal of biology*. – 2012. – Vol. 7, N 1. – P. 126–131. – DOI: 10.2478/s11535-011-0091-z.
 12. Федосеева, Л. М. Изучение некоторых водорастворимых соединений донника лекарственного травы (*Melilotus officinalis* L.) / Л. М. Федосеева, Т. А. Харлампович // *Химия растительного сырья*. – 2013. – № 2. – С. 153–157. – DOI: 10.14258/jcprm.1302153.
 13. Analysis of the Monosaccharide Components in *Angelica* Polysaccharides by High Performance Liquid Chromatography / X. Yang, Y. Zhao, Q. Wang [et al.] // *Analytical sciences*. – 2005. – Vol. 21, N 10. – P. 1177–1180. – DOI: 10.2116/analsci.21.1177.
 14. Попова, Т. С. Углеводы в почках и листьях черной смородины / Т. С. Попова, Н. С. Терёшина // *Фармация*. – 2013. – № 8. – С. 10–13.
 15. Разработка методики количественного определения полисахаридов листьев березы / К. И. Ровкина, С. В. Кривошеков, А. М. Гурьев [и др.] // *Медицинский вестник Башкортостана*. – 2019. – Т. 14, № 1. – С. 47–50.
 16. Разработка методики определения инулина в цикории растворимом натуральном после ферментативного гидролиза методом высокоэффективной жидкостной хроматографии / Д. О. Боков, Е. П. Хромченкова, М. С. Сокурченко [и др.] // *Вопросы питания*. – 2017. – Т. 86, № 5. – С. 50–55.
 17. Бубенчикова, В. Н. Изучение полисахаридного и минерального состава герани кроваво-красной / В. Н. Бубенчикова, Ж. А. Булатникова // *Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки*. – 2011. – № 9. – С. 200–202.
 18. Изучение суммарного содержания антиоксидантов, полисахаридов, элементного состава и аминокислот растительного сырья смородины черной / С. Л. Аджаихметова, Н. М. Червонная, Д. И. Поздняков, Э. Т. Оганесян // *Химия растительного сырья*. – 2021. – № 3. – С. 265–274. – Doi: 10.14258/jcprm.2021037774.
 19. Исследование полисахаридов побегов малины обыкновенной и их сорбционной активности / Д. К. Гуляев, В. Д. Белоногова, И. П. Рудакова, И. В. Коротков // *Человек и его здоровье*. – 2022. – Т. 25, № 3. – С. 72–80. – DOI: 10.21626/vestnik/2022-3/08.
 20. Тринеева, О. В. Изучение углеводного комплекса плодов облепихи крушиновидной различными методами / О. В. Тринеева, А. И. Сливкин // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия, Биология. Фармация*. – 2020. – № 2. – С. 91–98.
 21. Тринеева, О. В. Сравнительная характеристика определения сахаров различными методами в листьях крапивы двудомной / О. В. Тринеева // *Разработка и регистрация лекарственных средств*. – 2020. – Т. 9, № 2. – С. 91–97. – DOI: 10.33380/2305-2066-2020-9-2-

91–97.

22. Validation of a spectrophotometric methodology for the quantification of polysaccharides from roots of *Operculina macrocarpa* (jalapa) / M. A. M. Galvão, M. R. A. Ferreira, B. M. Nunes [et al.] // *Revista brasileira de farmacognosia*. – 2014. – Vol. 24, N 6. – P. 683–690. – DOI: 10.1016/j.bjp.2014.10.008.

23. Тринеева, О. В. Определения простых сахаров в лекарственном растительном сырье методом высокоэффективной тонкослойной хроматографии (на примере плодов облепихи крушиновидной и листьев крапивы двудомной) / О. В. Тринеева, А. И. Сливкин // *Химия растительного сырья*. – 2020. – № 1. – С. 215–222. – DOI: 10.14258/jcprm.2020015122.

24. Патент RU2642264, МПК G01N 30/90 (2006.01). Способ определения простых сахаров в тонком слое сорбента : № 2016110353 : заявлено 21.03.2016 : опубл. 24.01.2018 / Тринеева О. В., Сафонова Е. Ф., Сливкин А. И., Назарова А. А. ; заявители: Тринеева О. В., Сафонова Е. Ф., Сливкин А. И., Назарова А. А. – 17 с.

25. Neutral monosaccharide composition analysis of plant-derived oligo- and polysaccharides by high performance liquid chromatography / J. Yan, S. Shi, H. Wang [et al.] // *Carbohydrate polymers*. – 2016. – Vol. 136. – P. 1273–1280. – DOI: 10.1016/j.carbpol.2015.10.028. – URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26572471/> (date of access: 19.01.2026).

26. Государственная фармакопея Республики Беларусь (ГФ РБ II) : разработ. на основе Европ. Фармакопеи : в 2 т. : введ. в действие с 1 июля 2016 г. приказом М-ва здравоохранения Респ. Беларусь от 31.03.2016 г. № 270. – Т. 2: Контроль качества субстанций для фармацевтического использования и лекарственного растительного сырья / М-во здравоохранения Респ. Беларусь, Центр экспертиз и испытаний в здравоохранении ; [под общ. ред. С. И. Марченко]. – Молодечно : Победа, 2016. – 1368 с.

27. Государственная фармакопея Российской Федерации XV издания / Институт фармакопеи и стандартизации в сфере обращения лекарственных средств. – URL: <https://pharmacopoeia.regmed.ru/pharmacopoeia/izdanie-15/> (дата обращения: 12.01.2026).

28. Дьякова, Н. А. Разработка и валидация экспресс-методики выделения и количественного определения водорастворимых полисахаридов листьев лопуха большого (*Arctium lappa* L.) / Н. А. Дьякова // *Химия растительного сырья*. – 2018. – № 4. – С. 81–87. – DOI: 10.14258/jcprm.2018042195.

29. Мсалли, Х. Определение полисахаридов в траве и корнях *Althaea officinalis* L., произрастающего на территории Астраханской области / Х. Мсалли, А. А. Цибизова // *WORLD*

SCIENCE: PROBLEMS AND INNOVATIONS : сб. статей XII междунар. науч.-практ. конф., Пенза, 30 авг. 2017 г. / ред. Г. Ю. Гуляев. – Пенза : Наука и Просвещение, 2017. – С. 338–340.

30. Hromádková, Z. Comparison of classical and ultrasound-assisted extraction of polysaccharides from *Salvia officinalis* L. / Z. Hromádková, A. Ebringerová, P. Valachovic // *Ultrasonics sonochemistry*. – 1999. – Vol. 5, N 4. – P. 163–168. – DOI: 10.1016/S1350-4177(98)00046-7.

31. Разработка и валидация экспресс-методики выделения и количественного определения водорастворимых полисахаридов корней одуванчика лекарственного (*Taraxacum officinale* Wigg.) / Н. А. Дьякова, А. И. Сливкин, И. А. Самылина [и др.] // *Химико-фармацевтический журнал*. – 2018. – Т. 52, № 4. – С. 40–43. – DOI: 10.30906/0023-1134-2018-52-4-40-43.

32. Дьякова, Н. А. Разработка и валидация экспрессной методики выделения и количественного определения водорастворимых полисахаридов из корней девясила высокого / Н. А. Дьякова, С. П. Гапонов, А. И. Сливкин // *Химия растительного сырья*. – 2021. – № 1. – С. 63–70. – DOI: 10.14258/jcprm.2021017363.

33. Дьякова, Н. А. Разработка и валидация методики выделения и количественного определения водорастворимых полисахаридов из корней подсолнечника однолетнего / Н. А. Дьякова // *Химия растительного сырья*. – 2022. – № 4. – С. 59–66. – DOI: 10.14258/jcprm.20220410906.

34. Оленников, Д. Н. Разработка технологии получения экстракта подорожника большого сухого / Д. Н. Оленников, Л. М. Танхаева // *Химия растительного сырья*. – 2006. – № 1. – С. 49–54.

35. Оленников, Д. М. Методика количественного определения суммарного содержания полисахаридов в семенах льна (*Linum usitatissimum* L.) // Д. Н. Оленников, Л. М. Танхаева. – *Химия растительного сырья*. – 2007. – № 4. – С. 85–90.

36. Изучение углеводного состава синюхи голубой (*Polemonium coeruleum* L.) / А. А. Гудкова, Г. Ю. Шестакова, А. И. Сливкин [и др.] // *Химия растительного сырья*. – 2021. – № 3. – С. 107–114. – DOI: 10.14258/jcprm.2021038795.

37. Гулина, Е. И. Валидация методик количественного определения полисахаридов *Saussurea salicifolia* L. / Е. И. Гулина, Ю. А. Николаева, А. В. Зыкова // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия, Биология. Фармация*. – 2023. – № 4. – С. 11–17.

38. Кузьмичева, Н. А. Фитохимический анализ семян пажитника сенного / Н. А. Кузьмичева // *Вестник фармации*. – 2017. – № 2. – С. 23–31.

39. Analysis of water-soluble polysaccharides in an edible medicinal plant *Epimedium*: method development, validation, and application / H. F. Zhang, L. L. Niu, X. H. Yang, L. Li // *Journal of AOAC International*. – 2014. – Vol. 97, N 3. – P. 784–790. – DOI: 10.5740/jaoacint.12-379.
40. Количественное определение полисахаридов в корневищах аира болотного / А. П. Корж, А. М. Гурьев, М. В. Белоусов, М. С. Юсубов // *Фармация*. – 2011. – № 4. – С. 24–26.
41. Оленников, Д. Н. Методика количественного определения суммарного содержания полифруктанов в корнях лопуха (*Arctium* spp.) / Д. Н. Оленников, Л. М. Танхаева // *Химия растительного сырья*. – 2010. – № 1. – С. 115–120.
42. Танхаева, Л. М. Методика количественного определения суммарного содержания полифруктанов в корнях одуванчика лекарственного (*Taraxacum officinale* Wigg.) / Л. М. Танхаева, Д. Н. Оленников // *Химия растительного сырья*. – 2010. – № 2. – С. 85–89.
43. Митрофанова, И. Ю. Определение суммарного содержания полифруктанов и динамики их накопления в корневищах и корнях девясила высокого (*Inula helenium* L.), произрастающего в Волгоградской области / И. Ю. Митрофанова, А. В. Яницкая // *Химико-фармацевтический журнал*. – 2013. – Т. 47, № 3. – С. 45–47. – DOI: 10.30906/0023-1134-2013-47-3-45-47.
44. Валидация методики количественного определения полисахаридов в таблетках «Иммунос» / С. Цэцэгмаа, Б. Баттулга, С. Бадамцэцэг [и др.] // *Инновационные технологии в фармации : материалы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, посвящ. 80-летию образования фармацевт. фак-та ИГМУ, Иркутск, 10 июня 2021 г. / Министерство здравоохранения Российской Федерации, Иркутский государственный медицинский университет ; под общ. ред. Е. Г. Приваловой. – Иркутск : Иркутский гос. мед. ун-т, 2021. – Вып. 8. – С. 139–143.*
45. Soedjak, H. S. Colorimetric determination of carageenans and other anionis hydrocolloids with methylene blue / H. S. Soedjak // *Analytical chemistry*. – 1994. – Vol. 66, N 24. – P. 4514–4518. – DOI: 10.1021/AC00096A018.
46. Lee, J. M. Solid-phase colorimetric method for the quantification of fucoidan / J. M. Lee, Z. Shin, G. T. Mavlonov [et al.] // *Applied biochemistry and biotechnology*. – 2012. – Vol. 168, N 5. – P. 1019–1024. – DOI: 10.1007/s12010-012-9837-y.
47. Комова, С. И. Подходы к анализу и контролю качества растительных полисахаридов как потенциальных лекарственных средств и БАД / С. И. Комова, Е. С. Сурбеева // *Молодая фармация – потенциал будущего : XIII Всерос. науч. конф. школьников, студентов и аспирантов с междунар. участием : сб. материалов конф., 1 марта – 11 апреля 2023 г. – Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский государственный химико-фармацевтический университет, 2023. – С. 213–219.*
48. Полисахаридный и аминокислотный состав наиболее распространенных видов лабазника / М. Ю. Круглова, Д. С. Круглов, М. А. Ханина, Н. С. Фурса // *Медицина и образование в Сибири*. – 2011. – № 5. – С. 14.
49. Quantitative analysis of polysaccharide composition in *Polyporus umbellatus* by HPLC–ESI–TOF–MS / N. Guo, Z. Bai, W. Jia [et al.] // *Molecules*. – 2019. – Vol. 24, N 14. – DOI: 10.3390/molecules24142526. – URL: <https://www.mdpi.com/1420-3049/24/14/2526> (date of access: 16.01.2026).
50. Определение флавоноидов в надземной части Melissa лекарственной и котовника кошачьего методом капиллярного электрофореза / Н. А. Толочилин, Ю. Г. Кураева, Л. А. Онучак, В. А. Куркин // *Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология*. – 2025. – Т. 25, № 3. – С. 264–272. – DOI: 10.18500/1816-9775-2025-25-3-264-272.
51. Якуба, Ю. Ф. Определение глюкозы, сахарозы и фруктозы методом капиллярного электрофореза / Ю. Ф. Якуба, М. Г. Марковский // *Вопросы питания*. – 2015. – Т. 84, № 1. – С. 89–94. DOI
52. Optimized hydrolysis and analysis of *Radix Asparagi* polysaccharide composition by capillary zone electrophoresis / J. Chen, F. Yang, H. Guo [et al.] // *Journal of separation science*. – 2015. – Vol. 38. – P. 2327–2331. – DOI: 10.1002/jssc.201500120.

REFERENCES

1. Singh D, Rajput A, Bhatia A, Kumar A, Kaur H, Sharma P, et al. Plant-based polysaccharides and their health functions. *Functional Foods in Health and Disease*. 2021;11(4):179–200. doi: 10.31989/ffhd.v11i5.773
2. Govindarajan S, Noor A. Biological Activities of Plant Polysaccharides, Mechanism of Action and Biomedical Applications. *Res J Biotechnol*. 2021;16(7):255–72. doi: 10.25303/167rjbt25521
3. Dong X, Zhou M, Li Y, Ji H, Hu Q. Cardiovascular Protective Effects of Plant Polysaccharides: A review. *Front Pharmacol*. 2021;12. doi: 10.3389/fphar.2021.783641. URL: <https://www.frontiersin.org/journals/pharmacology/articles/10.3389/fphar.2021.783641/full> (date of access: 10.01.2026)
4. Bai L, Xu D, Zhou YM, Zhang YB, Zhang H, Chen YB, et al. Antioxidant Activities of Natural Polysaccharides and Their Derivatives

- for Biomedical and Medicinal Applications. Antioxidants (Basel). 2022;11(12). doi: 10.3390/antiox11122491. URL: <https://www.mdpi.com/2076-3921/11/12/2491> (date of access: 10.01.2026)
5. Mohammed ASA, Naveed M, Jost N. Polysaccharides; Classification, Chemical Properties, and Future Perspective Applications in Fields of Pharmacology and Biological Medicine (A Review of Current Applications and Upcoming Potentialities). J Polym Environ. 2021;29(8):2359–71. doi: 10.1007/s10924-021-02052-2. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10924-021-02052-2#citeas> (date of access: 10.01.2026)
 6. Biriulin SI, Posokina NE, Trishkanova MV. Isolation of carbohydrates from plant materials and their identification using capillary electrophoresis. Ovoshchi Rossii. 2019;(5):84–7. doi: 10.18619/2072-9146-2019-5-84-87. (In Russ.)
 7. Olennikov DN, Tankhaeva LM. Methodology for quantitative determination of the group composition of the carbohydrate complex of plant objects. Khimiia rastitel'nogo syr'ia. 2006;(4):29–33. (In Russ.)
 8. Bubenchikov RA. Phenolic compounds and polysaccharides of dog violet. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Khimiia, Biologiia. Farmatsiia. 2004;(1):156–9. (In Russ.)
 9. Martynov AM, Dargaeva TD. Phenolic compounds and water-soluble polysaccharides of Patren's violet. Sibirskii meditsinskii zhurnal. 2009;90(7):213–5. (In Russ.)
 10. Bubenchikova VN, Azarova AV. Composition and expectorant activity of water-soluble polysaccharide complexes of elecampane. Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennye nauki. 2011;(9):189–91. (In Russ.)
 11. Glavač NK, Kosir IJ, Rode J, Kreft S. Optimization and use of a spectrophotometric method for determining polysaccharides in *Echinacea purpurea*. Cent Eur J Biol. 2012;7(1):126–31. doi: 10.2478/s11535-011-0091-z
 12. Fedoseeva LM, Kharlampovich TA. Study of some water-soluble compounds of sweet clover (*Melilotus officinalis* L.). Khimiia rastitel'nogo syr'ia. 2013;(2):153–7. doi: 10.14258/jcprm.1302153. (In Russ.)
 13. Yang X, Zhao Y, Wang Q, Wang H, Mei Q. Analysis of the Monosaccharide Components in *Angelica* Polysaccharides by High Performance Liquid Chromatography. Anal Sci. 2005;21(10):1177–80. doi: 10.2116/analsci.21.1177
 14. Popova TS, Tereshina NS. Carbohydrates in blackcurrant buds and leaves. Farmatsiia. 2013;(8):10–3. (In Russ.)
 15. Rovkina KI, Krivoshechekov SV, Gur'ev AM, Iusubov MS, Bezverkhniia EA, Belousov MV. Development of a method for the quantitative determination of birch leaf polysaccharides. Meditsinskii vestnik Bashkortostana. 2019;14(1):47–50. (In Russ.)
 16. Bokov DO, Khromchenkova EP, Sokurenko MS, Vasil'ev AV, Bessonov VV. Development of a method for determining inulin in natural soluble chicory after enzymatic hydrolysis using high-performance liquid chromatography. Voprosy pitaniia. 2017;86(5):50–5. (In Russ.)
 17. Bubenchikova VN, Bulatnikova ZhA. Study of the polysaccharide and mineral composition of blood-red geranium. Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennye nauki. 2011;(9):200–2. (In Russ.)
 18. Adzhiakhmetova SL, Chervonnaia NM, Pozdniakov DI, Oganessian ET. Study of the total content of antioxidants, polysaccharides, elemental composition and amino acids of black currant plant material. Khimiia rastitel'nogo syr'ia. 2021;(3):265–74. doi: 10.14258/jcprm.2021037774. (In Russ.)
 19. Guliaev DK, Belonogova VD, Rudakova IP, Korotkov IV. Study of polysaccharides of common raspberry shoots and their sorption activity. Chelovek i ego zdorov'e. 2022;25(3):72–80. doi: 10.21626/vestnik/2022-3/08. (In Russ.)
 20. Trineeva OV, Slivkin AI. Study of the carbohydrate complex of sea buckthorn fruits by various methods. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Khimiia, Biologiia. Farmatsiia. 2020;(2):91–8. (In Russ.)
 21. Trineeva OV. Comparative characteristics of the determination of sugars by various methods in stinging nettle leaves. Razrabotka i registratsiia lekarstvennykh sredstv. 2020;9(2):91–7. doi: 10.33380/2305-2066-2020-9-2-91-97. (In Russ.)
 22. Galvão MAM, Ferreira MRA, Nunes BM, Santana ASC, Randau KP, Soares LAL. Validation of a spectrophotometric methodology for the quantification of polysaccharides from roots of *Operculina macrocarpa* (jalapa). Rev Bras Farmacogn. 2014;24(6):683–90. doi: 10.1016/j.bjp.2014.10.008
 23. Trineeva OV, Slivkin AI. Determination of simple sugars in medicinal plant materials by high-performance thin-layer chromatography (using sea buckthorn fruits and stinging nettle leaves as an example). Khimiia rastitel'nogo syr'ia. 2020;(1):215–22. doi: 10.14258/jcprm.2020015122. (In Russ.)
 24. Trineeva OV, Safonova EF, Slivkin AI, Nazarova AA, izobretateli. Method for determining simple sugars in a thin layer of sorbent. Patent RU2642264, MPK G01N 30/90 (2006.01). 2018 Janv 24. 17 s. (In Russ.)
 25. Yan J, Shi S, Wang H, Liu R, Li N, Chen Y, et al. Neutral monosaccharide composition analysis

of plant-derived oligo- and polysaccharides by high performance liquid chromatography. Carbohydr Polym. 2016;136:1273–80. doi: 10.1016/j.carbpol.2015.10.028. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26572471/> (date of access: 19.01.2026)

26. Ministerstvo zdravookhraneniia Respubliki Belarus; Tsentru ekspertiz i ispytaniia v zdravookhraneniia. State Pharmacopoeia of the Republic of Belarus: v 2 t. T. 2. Quality control of substances for pharmaceutical use and medicinal herbal raw materials. Marchenko SI, redactor. Molodechno, RB: Pobeda; 2016. 1368 s. (In Russ.)

27. Institut farmakopei i standartizatsii v sfere obrashcheniia lekarstvennykh sredstv. State Pharmacopoeia of the Russian Federation, 15th edition. URL: <https://pharmacopoeia.regmed.ru/pharmacopoeia/izdanie-15/> (data obrashcheniia: 12.01.2026). (In Russ.)

28. D'iakova NA. Development and validation of a rapid method for the isolation and quantitative determination of water-soluble polysaccharides from burdock leaves (*Arctium lappa* L.). Khimiia rastitel'nogo syr'ia. 2018;(4):81–7. doi: 10.14258/jcprm.2018042195. (In Russ.)

29. Msalli Kh, Tsibizova AA. Determination of polysaccharides in the grass and roots of *Althaea officinalis* L., growing in the Astrakhan region. V: Guliaev Glu, redactor. WORLD SCIENCE: PROBLEMS AND INNOVATIONS: sb statei XII mezhdunar nauch-prakt konf, Penza, 30 avg 2017 g. Penza, RF: Nauka i Prosveshchenie; 2017. s. 338–40. (In Russ.)

30. Hromádková Z, Ebringerová A, Valachovic P. Comparison of classical and ultrasound-assisted extraction of polysaccharides from *Salvia officinalis* L. Ultrason Sonochem. 1999;5(4):163–8. doi: 10.1016/S1350-4177(98)00046-7

31. D'iakova NA, Slivkin AI, Samylina IA, Gaponov SP, Myndra AA, Shushunova TG. Development and validation of a rapid method for the isolation and quantitative determination of water-soluble polysaccharides from the roots of dandelion (*Taraxacum officinale* Wigg.). Khimiko-farmatsevticheskii zhurnal. 2018;52(4):40–3. doi: 10.30906/0023-1134-2018-52-4-40-43. (In Russ.)

32. D'iakova NA, Gaponov SP, Slivkin AI. Development and validation of a rapid method for the isolation and quantitative determination of water-soluble polysaccharides from the roots of Elecampane. Khimiia rastitel'nogo syr'ia. 2021;(1):63–70. doi: 10.14258/jcprm.2021017363. (In Russ.)

33. D'iakova NA. Development and validation of a method for the isolation and quantitative determination of water-soluble polysaccharides from the roots of annual sunflower. Khimiia rastitel'nogo syr'ia. 2022;(4):59–66. doi: 10.14258/jcprm.20220410906. (In Russ.)

34. Olennikov DN, Tankhaeva LM. Development of technology for obtaining dry plantain extract. Khimiia rastitel'nogo syr'ia. 2006;(1):49–54. (In Russ.)

35. Olennikov DN, Tankhaeva LM. Method for quantitative determination of total polysaccharide content in flax seeds (*Linum usitatissimum* L.). Khimiia rastitel'nogo syr'ia. 2007;(4):85–90. (In Russ.)

36. Gudkova AA, Shestakova Glu, Slivkin AI, Chistiakova AS, Agafonov VA, Chavro PV. Study of the carbohydrate composition of *Polemonium coeruleum* L. Khimiia rastitel'nogo syr'ia. 2021;(3):107–14. doi: 10.14258/jcprm.2021038795. (In Russ.)

37. Gulina EI, Nikolaeva IuA, Zykova AV. Validation of methods for quantitative determination of polysaccharides of *Saussurea salicifolia* L. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Khimiia, Biologiya. Farmatsiya. 2023;(4):11–7. (In Russ.)

38. Kuz'micheva NA. Phytochemical analysis of fenugreek seeds. Vestnik farmatsii. 2017;(2):23–31. (In Russ.)

39. Zhang HF, Niu LL, Yang XH, Li L. Analysis of water-soluble polysaccharides in an edible medicinal plant Epimedium: method development, validation, and application. J AOAC Int. 2014;97(3):784–90. doi: 10.5740/jaoacint.12-379

40. Korzh AP, Gur'ev AM, Belousov MV, Iusubov MS. Quantitative determination of polysaccharides in calamus rhizomes. Farmatsiya. 2011;(4):24–6. (In Russ.)

41. Olennikov DN, Tankhaeva LM. Method for quantitative determination of total polyfructan content in burdock roots (*Arctium* spp.). Khimiia rastitel'nogo syr'ia. 2010;(1):115–20. (In Russ.)

42. Tankhaeva LM, Olennikov DN. Method for quantitative determination of total polyfructan content in dandelion roots (*Taraxacum officinale* Wigg.). Khimiia rastitel'nogo syr'ia. 2010;(2):85–9. (In Russ.)

43. Mitrofanova Iu, Ianitskaia AV. Determination of the total content of polyfructans and the dynamics of their accumulation in the rhizomes and roots of elecampane (*Inula helenium* L.) growing in the Volgograd region. Khimiko-farmatsevticheskii zhurnal. 2013;47(3):45–7. doi: 10.30906/0023-1134-2013-47-3-45-47. (In Russ.)

44. Tsetsemaa S, Battulga B, Badamtsetseg S, Ganchimeg G, Lkhaasuren R, Baianmunkh A, et al. Validation of a method for the quantitative determination of polysaccharides in Immunos tablets. V: Ministerstvo zdravookhraneniia Rossiiskoi Federatsii, Irkutskii gosudarstvennyi meditsinskii universitet; Privalova EG, redactor. Innovatsionnye tekhnologii v farmatsii. Materialy Vseros nauch-prakt konf s mezhdunar uchastiem, posviashch 80-letiiu obrazovaniia farmatsevt fak-ta IGMU, Irkutsk, 10 iunია 2021 g. Irkutsk, RF:

Irkutskii gos med un-t; 2021. Vyp. 8. s. 139–43. (In Russ.)

45. Soedjak HS. Colorimetric determination of carageenans and other anionis hydrocolloids with methylene blue. *Anal Chem.* 1994;66(24):4514–8. doi: 10.1021/AC00096A018

46. Lee JM, Shin Z, Mavlonov GT, Abdurakhmonov IY, Yi TH. Solid-phase colorimetric method for the quantification of fucoidan. *Appl Biochem Biotechnol.* 2012;168(5):1019–24. doi: 10.1007/s12010-012-9837-y

47. Komova SI, Surbeeva ES. Approaches to the analysis and quality control of plant polysaccharides as potential drugs and dietary supplements. V: *Molodaia farmatsiia – potentsial budushchego: XIII Vseros nauch konf shkol'nikov, studentov i aspirantov s mezhdunar uchastiem : sb materialov konf, 1 marta – 11 apreliia 2023 g. Sankt-Peterburg, RF: Sankt-Peterburgskii gosudarstvennyi khimiko-farmatsevticheskii universitet; 2023. s. 213–219. (In Russ.)*

48. Kruglova Mlu, Kruglov DS, Khanina MA, Fursa NS. Polysaccharide and amino acid composition of the most common species of meadowsweet. *Meditcina i obrazovanie v Sibiri.* 2011;(5):14. (In Russ.)

49. Guo N, Bai Z, Jia W, Sun J, Wang W, Chen S, et al. Quantitative analysis of polysaccharide composition in *Polyporus umbellatus* by HPLC–

ESI–TOF–MS. *Molecules.* 2019;24(14). doi: 10.3390/molecules24142526. URL: <https://www.mdpi.com/1420-3049/24/14/2526> (date of access: 16.01.2026)

50. Tolochilin NA, Kuraeva IuG, Onuchak LA, Kurkin VA. Determination of flavonoids in the aerial parts of lemon balm and catnip by capillary electrophoresis. *Izvestiia Saratovskogo universiteta. Novaia seriia. Seriia: Khimiia. Biologiia. Ekologiia.* 2025;25(3):264–72. doi: 10.18500/1816-9775-2025-25-3-264-272. (In Russ.)

51. Iakuba IuF, Markovskii MG. Determination of glucose, sucrose and fructose by capillary electrophoresis. *Voprosy pitaniia.* 2015;84(1):89–94. (In Russ.)

52. Chen J, Yang F, Guo H, Wu F, Wang X. Optimized hydrolysis and analysis of Radis Asparagi polysaccharide composition by capillary zone electrophoresis. *J Sep Sci.* 2015;38:2327–31. doi: 10.1002/jssc.201500120

Адрес для корреспонденции:

210009, Республика Беларусь,
г. Витебск, пр. Фрунзе, 27,
УО «Витебский государственный ордена
Дружбы народов медицинский университет»,
кафедра фармакогнозии и ботаники,
e-mail: gnozia20vgmu@mail.ru,
Осипова А. А.

Поступила 02.03.2026 г.