

УДК 615.275.4

ХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА НАТИВНЫХ ВОДОРАСТВОРИМЫХ ПОЛИСАХАРИДОВ *HYPERICUM PERFORATUM* L., *URTICA DIOICA* L., *FILIPENDULA ULMARIA* (L.) MAXIM., *SOLIDAGO VIRGAUREA* L., *SYMPHYTUM OFFICINALE* L., *SYRINGA VULGARIS* L.

© Е.Ю. Авдеева^{1,2*}, Я.Е. Решетов¹, Е.И. Гулина¹, С.В. Кривошеков¹, А.Н. Савельева¹, А.В. Зыкова¹, А.С. Князев², М.В. Белоусов¹

¹ Сибирский государственный медицинский университет, Московский тракт, 2, Томск, 634050, Россия, elenaavdeev@yandex.ru

² Томский государственный университет, пр. Ленина, 36, Томск, 634050, Россия

Цель исследования состояла в изучении ранее не описанных нативных водорастворимых полисахаридов (НВРПС) видов растений, используемых в качестве противовоспалительных и/или иммуномодулирующих средств. НВРПС получены водой без нагревания из сырья, предварительно очищенного от липофильных и фенольных компонентов, с последующим осаждением этанолом и очисткой диализом. Содержание белка и уроновых кислот определяли спектрофотометрически, молекулярно-массовые характеристики – методом высокоэффективной эксклюзионной хроматографии, моносахаридный состав – методом газовой хроматографии, получали инфракрасные спектры. Преобладающими компонентами всех исследованных НВРПС являются нейтральные сахара, содержание уроновых кислот составило от 5–7% (*Filipendula ulmaria*, *Solidago virgaurea*, *Symphytum officinale*) до 14–15% (*Hypericum perforatum*, *Urtica dioica*, *Syringa vulgaris*); белка – порядка 7–10% (за исключением *S. vulgaris*). НВРПС всех исследуемых видов однородны по молекулярной массе, имеют низкий коэффициент гетерогенности (за исключением *S. virgaurea*); содержат по 1–6 фрагментов с молекулярной массой от 100 до 400 кДа и по 24–29 фрагментов с молекулярной массой от 10 до 100 кДа. Мономерные фрагменты НВРПС *H. perforatum* представлены в равных частях ксилозой и галактуроновой кислотой; *U. dioica* – ксилозой>глюкозой>галактуроновой кислотой; *F. ulmaria* – ксилозой>рамнозой; *S. virgaurea* – глюкозой>галактозой и галактуроновой кислотой>ксилозой; *S. officinale* – глюкозой>ксилозой и галактуроновой кислотой; *S. vulgaris* – галактозой>галактуроновой кислотой>ксилозой и глюкозой. Во всех НВРПС присутствуют пиранозные и фуранозные формы моносахаридных фрагментов, α- и β-тип гликозидных связей. Представляется перспективным дальнейшее исследование противовоспалительной и/или иммуномодулирующей активности описанных в данном эксперименте НВРПС с целью обоснования дальнейшего глубокого исследования химического состава полисахаридных комплексов с доказанной биологической активностью.

Ключевые слова: полисахариды, *Hypericum perforatum* L., *Urtica dioica* L., *Filipendula ulmaria* (L.) Maxim., *Solidago virgaurea* L., *Symphytum officinale* L., *Syringa vulgaris* L.

Для цитирования: Авдеева Е.Ю., Решетов Я.Е., Гулина Е.И., Кривошеков С.В., Савельева А.Н., Зыкова А.В., Князев А.С., Белоусов М.В. Химическая характеристика нативных водорастворимых полисахаридов *Hypericum perforatum* L., *Urtica dioica* L., *Filipendula ulmaria* (L.) Maxim., *Solidago virgaurea* L., *Symphytum officinale* L., *Syringa vulgaris* L. // Химия растительного сырья. 2025. №4. С. 80–89. <https://doi.org/10.14258/jcprm.20250417020>.

Введение

Исследование высокомолекулярных полисахаридов как источников противовоспалительных и иммуномодулирующих средств не теряет своей актуальности. Так, описаны разнообразные виды биологической активности полисахарида портулака, в том числе механизмы его иммуномодулирующей активности [1]. В эксперименте полисахарид портулака стимулировал выработку интерлейкина (IL)-12, усиливал пролиферацию Т-клеток, способствовал апоптозу клеток U14, а после селенизации усиливал фагоцитоз макрофагов и повышал секрецию трех связанных с иммунитетом цитокинов, включая фактор некроза опухоли-α (TNF-α), IL-6

* Автор, с которым следует вести переписку.

и IL-1 β [1]. Очищенные полисахариды фиолетового картофеля показали противовоспалительную активность в экспериментах *in vitro* и *in vivo*: ингибировали уровни оксида азота, IL-6, IL-1 β и TNF- α , но увеличивали выработку IL-10 в обработанных липополисахаридом (LPS) макрофагах [2]. В обзоре литературы [3] представлены порядка 62 источников, описывающих статистически значимую противовоспалительную и иммуномодулирующую активность глюканов, пектинов, гетерогликанов, глюкоманнанов, фукоиданов, галактоманнанов, арабиногалактанов и смешанных полисахаридных продуктов при пероральном применении у грызунов. В пятнадцати контролируемых исследованиях на людях сообщалось, что глюканы, арабиногалактаны, гетерогликанов и фукоиданы проявляют аналогичную активность. Кроме того, иммуномодулирующие эффекты глюканов, арабиногалактанов и фукоиданов выявлены в контролируемых исследованиях пациентов с язвами ЖКТ и сезонной аллергией [3]. Экспериментальные данные, представленные в научных источниках литературы, обеспечивают основу дальнейших исследований полисахаридных соединений с точки зрения потенциальных противовоспалительных и иммуномодулирующих средств.

В этом контексте актуально изучение полисахаридов тех растений, которые применяются в народной медицине в качестве противовоспалительных и/или иммуномодулирующих средств, а именно: травы зверобоя продырявленного, крапивы двудомной, лабазника вязолистного, золотой розги, корней окопника лекарственного, цветков сирени обыкновенной [4]. Ранее описаны пектиновые полисахариды зверобоя продырявленного [5, 6] и окопника лекарственного [7], проявившие высокую антиоксидантную активность; водорастворимые и пектиновые полисахариды крапивы двудомной, стимулирующие кроветворение и повышающие фагоцитарную активность [8, 9]. После применения полисахаридов крапивы увеличивалось количество эритроцитов, лимфоцитов, моноцитов, сегментоядерных нейтрофилов в крови животных, а также количество эритробластических островков костного мозга [8, 9]. Полисахариды, выделенные из корней крапивы двудомной, проявили антипролиферативный эффект на эпителиальные клетки простаты, а также противовоспалительную и иммуномодулирующую активность [10]. Исследования водорастворимых полисахаридов, полученных из цветков лабазника вязолистного, позволили установить их общую принадлежность к галактанам с примесью глюканов в качестве второстепенных компонентов [11].

Основываясь на проведенных ранее нами исследованиях, выявивших иммуномодулирующую активность нативных водорастворимых полисахаридов (НВРПС), полученных методом экстракции без нагревания из сырья, предварительно очищенного от липофильных компонентов и фенольных соединений [12, 13], в настоящей работе изучили химический состав таких полисахаридов, выделенных из указанных шести видов растений.

Таким образом, цель настоящего исследования состояла в изучении ранее не описанного полисахаридного комплекса для растений, популярных в народной медицине в качестве противовоспалительных и/или иммуномодулирующих средств: травы зверобоя продырявленного, крапивы двудомной, лабазника вязолистного, золотой розги, корней окопника лекарственного и цветков сирени обыкновенной.

Экспериментальная часть

В качестве объекта исследования использовали надземную часть зверобоя продырявленного (*Hypericum perforatum* L., syn.: *Hypericum komarovii* Gorschk., *Hypericum nachitschevanicum* Grossh., сем. Hypericaceae), крапивы двудомной (*Urtica dioica* L., syn.: *Urtica gracilis* Ait., *Urtica holosericea* Nutt., сем. Urticaceae), лабазника вязолистного (*Filipendula ulmaria* (L.) Maxim., syn.: *Spiraea ulmaria* L., *Filipendula ulmaria* var. *tomentosa* (Cambess.) Maxim., сем. Rosaceae), золотой розги (*Solidago virgaurea* L., syn.: *Aster virgaurea* (L.) Kuntze, *Doria virgaurea* (L.) Scop., сем. Asteraceae), собранные в фазу цветения в июле 2019 г в Томской области; корни окопника лекарственного (*Symphytum officinale* L., syn.: *Consolida major* Garsault., сем. Boraginaceae), собранные в сентябре 2019 г в Томской области; цветки сирени обыкновенной (*Syringa vulgaris* L., syn.: *Liliacum vulgare* (L.) Renault in Fl., *Lilac caerulea* (Jonst.) Lunell., сем. Oleaceae), собранные в июне 2019 г в Томской области. Воздушно-сухой растительный материал с влажностью не более 6.0 \pm 0.5% измельчали и просеивали через сито с диаметром отверстий 2–3 мм.

Для получения полисахаридов по 45.0 г сырья последовательно обрабатывали путем настаивания с хлороформом, этилацетатом и 95% этанолом (соотношение 1 : 20; 25 °C; 24 ч.; n = 3). Сырье, очищенное от липофильных и фенольных компонентов, экстрагировали водой очищенной (соотношение 1 : 50; 25 °C; 0.5 ч; n = 3) с использованием магнитной мешалки. Полученные водные извлечения фильтровали через

бумажный фильтр «синяя лента». Фильтраты объединяли и концентрировали на роторном испарителе при температуре 35 °С. Концентрат с помощью делительной воронки капельно переносили в колбу, содержащую 96% этанол (гидро модуль 1 : 4) при постоянном перемешивании. Гетерогенную суспензию выдерживали 12 ч при температуре 0–5 °С. Полученный осадок фильтровали через бумажный фильтр «синяя лента» на воронке Бюхнера, затем растворяли в воде и диализовали против воды очищенной в течение 30 ч, диализат лиофилизировали.

Содержание белка определяли в соответствии с ОФС.1.2.3.0012.15 – метод 2 В [14]. Содержание уронных кислот – спектрофотометрическим методом (спектрофотометр UNICO 2800 (США)), с использованием градуировочного графика, построенного для растворов галактурановой кислоты при длинах волн 400 и 450 нм [15].

Молекулярно-массовые характеристики ПС определяли методом высокоэффективной эксклюзионной хроматографии в сравнении с растворами стандартных образцов декстранов (1 мг/мл) с Mw 15, 40, 60, 90, 110, 250 и 500 кДа («Sigma-Aldrich», Германия). Коэффициент гетерогенности ПС (Mw/Mn) рассчитывали как отношение средневесовой (Mw) к среднечисленной (Mn) молекулярной массе.

Моносахаридный состав определяли методом газовой хроматографии после кислотного гидролиза 5 мг полисахаридов 2 М раствором трифторуксусной кислоты (5 ч, 100 °С) с последующей дериватизацией 100 мкл силилирующего агента (смесь триметилхлорсилан : триметилсилил имидазол 3 : 1) в присутствии 200 мкл безводного пиридина при температуре 75 °С в течение 25 мин. Экстракцию ТМС-производных сахаров осуществляли смесью гексана и хлороформа 1 : 1 дважды по 500 мкл. Определение проводили на хроматографе Agilent 7890 с пламенно-ионизационным детектором и капиллярной колонкой DB-5 (0.25 мм, 30 м), температурный режим – от 175 до 250 °С при увеличении температуры на 3 °С/мин.

Инфракрасные спектры снимали в таблетках с калия бромидом на ИК-спектрометре ФСМ-2201 («Инфраспек», Россия) в интервале 400–4000 см⁻¹.

Результаты экспериментов обрабатывали с помощью программы Statistica 8,0. Данные представлены в виде $\bar{x} \pm m$, где \bar{x} – среднее значение, m – стандартная ошибка среднего. Число повторных экспериментов при оценке количественных параметров равно 6.

Обсуждение результатов

Для получения НВРПС использовали способ экстракции при комнатной температуре без нагревания. Используемое сырье было предварительно очищено от липофильных компонентов и фенольных соединений с помощью органических растворителей с различной полярностью. Дополнительная очистка полученных полисахаридов производилась методом диализа. Выход полисахаридов в различных видах сырья варьировал от 0.12±0.01 до 0.92±0.01%. Получение полисахаридов методом экстракции при нагревании, как правило, позволяет увеличить выход, но в то же время затрудняет очистку полисахаридов от белка и других примесных компонентов и приводит к снижению качества целевого продукта [12]. Кроме того, экспериментально установлено, что способ извлечения полисахаридов методом экстракции без нагревания позволяет получать нативные водорастворимые полисахариды, вызывающие специфическое усиление продукции оксида азота макрофагами *in vitro*, что позволяет использовать такие полисахариды в качестве основы для разработки низкотоксичных и высокоэффективных средств растительного происхождения для коррекции системы иммунитета при хронических, вялотекущих инфекционно-воспалительных процессах в медицине и ветеринарии [12]. В эксперименте по влиянию температуры сушки на структуру полисахаридов было установлено, что при температурном воздействии наблюдается межмолекулярная агрегация, существенно изменяются структура и кристалличность полисахаридов [16, 17]. Кривые дифракции рентгеновских лучей полисахаридов, полученные методом вакуумной сушки без нагревания, показали большую степень кристалличности, нежели полисахаридов, высушенных сублимационной сушкой, что может быть связано с более интенсивным процессом агрегации, наблюдаемым при термическом воздействии [18]. Поэтому для получения нативных полисахаридов желательно исключить или уменьшить температурное воздействие на всех этапах их получения.

Содержание уронных кислот в полисахаридах лабазника вязолистного, золотой розги и окопника лекарственного составило порядка 5–7%, а зверобоя продырявленного, крапивы двудомной и сирени

обыкновенной – 14–15% (табл. 1). Таким образом, нейтральные сахара являются преобладающими компонентами во всех образцах.

Содержание белка в испытуемых образцах составило порядка 7–10%, за исключением полисахаридов цветков сирени обыкновенной, при этом дополнительная очистка от белка не производилась (табл. 1). Содержание белка в целевом продукте, как правило, зависит от характера сырья, температуры экстракции, дополнительных способов очистки. Извлечение НВРПС из сырья без нагревания позволяет получить целевой продукт с невысоким содержанием белка, не требующий дополнительной очистки. В опубликованных источниках описаны полисахаридные комплексы с иммуномодулирующей активностью, полученные из высших растений, содержащие как следовые количества белка, так и содержащие порядка 5–14% белка [3, 19].

НВРПС всех исследуемых видов имеют низкий коэффициент гетерогенности M_w/M_n , не превышающий 10 единиц, за исключением НВРПС золотой розги, что говорит об их некоторой однородности по молекулярной массе. Во всех образцах было проанализировано порядка 30 полисахаридных фрагментов, при этом количество высокомолекулярных компонентов в них существенно отличалось (табл. 2). Наиболее высокомолекулярный фрагмент (408.8 кДа) содержит НВРПС золотой розги. НВРПС зверобоя продырявленного и цветков сирени обыкновенной также содержат по 2–3 высокомолекулярных компонента (200–300 кДа), лабазника вязолистного – один высокомолекулярный фрагмент с молекулярной массой 182.0 кДа. Все испытуемые образцы (кроме НВРПС окопника) содержат по 5–7 фрагментов с молекулярной массой 150–50 кДа и по 9–10 фрагментов с молекулярной массой 50–10 кДа. Для корней окопника лекарственного характерен НВРПС, состоящий преимущественно из низкомолекулярных фрагментов. Пектиновые полисахариды окопника, описанные ранее, также содержали фрагменты с молекулярной массой 5–7 кДа [7].

Как известно, высокомолекулярные растительные полисахариды проявляют иммуномодулирующую активность, усиливая функцию макрофагов: повышают их цитотоксическую активность в отношении опухолевых клеток и микроорганизмов, активируют фагоцитарную активность, усиливают секрецию цитокинов [3, 20]. Кроме того, иммуномодулирующая активность высокомолекулярных полисахаридов включает в себя воздействие не только на активацию макрофагов, но и на пролиферацию и дифференцировку клеток, индуцируя гемопоэтическую активность [19, 21]. В то же время сообщалось, что полисахариды с малой молекулярной массой могут проявлять более высокую биологическую активность за счет свободного прохождения через биологические мембраны, включая клеточную и ядерную мембраны [17].

В качестве мономерных фрагментов во всех анализируемых образцах НВРПС обнаружены ксилоза и галактуроновая кислота (за исключением НВРПС лабазника вязолистного). Кроме того, в качестве мономеров обнаружены глюкоза (НВРПС крапивы двудомной, золотой розги, окопника лекарственного, сирени обыкновенной), галактоза (НВРПС золотой розги, сирени обыкновенной) и рамноза (НВРПС лабазника вязолистного) (табл. 3).

Ранее в литературе описаны водорастворимые полисахариды, полученные из водного настоя цветков лабазника вязолистного, для которых характерно преобладание нейтральных углеводов, галактозы и глюкозы. В полисахаридном комплексе цветков лабазника вязолистного обнаружено порядка 9.0% урсоловых кислот, арабиноза, галактоза, глюкоза, фукоза, манноза, рамноза, ксилоза в соотношении 7 : 45 : 37 : 1 : 6.6 : 1.8 : 3 [11]. Пектиновые полисахариды корней окопника лекарственного, описанные в литературе, состояли из галактуроновой кислоты, глюкозы, галактозы и арабинозы в молярном соотношении 1 : 15.2 : 3.4 : 2.71 и содержат порядка 3.5% белка [7]. Из травы крапивы двудомной ранее были выделены рамногалактуроны, содержащие глюкозу, арабинозу, рамнозу, фруктозу, галактуроновою и глюкуроновую кислоты, с преобладанием фруктозы (4.8%) и галактуроновой кислоты (89.6%) [8]. Полученные в данном эксперименте НВРПС несколько отличаются по химическому составу от полисахаридов, описанных в литературе, что, вероятно, обусловлено совершенно иным способом их получения.

Некоторые данные о химическом составе полисахаридов можно получить, исследуя инфракрасные спектры. Как показывают многочисленные публикации, этот метод позволяет предположить форму мономерных компонентов и характер гликозидных связей. Кроме того, ИК-спектроскопия может явиться скрининговым методом для подтверждения полисахаридной структуры фракций, так как ИК-спектры полисахаридов имеют достаточно характерную картину. В ИК-спектрах исследуемых нами образцов НВРПС также присутствуют полосы поглощения, характерные для спектров описанных в литературе полисахаридов [2, 11] (рис.).

В спектрах всех образцов (табл. 4) присутствует широкая полоса при 3323–3400 см⁻¹, обусловленная вибрацией связей в ОН группах, что указывает на сильные меж- и внутримолекулярные взаимодействия полисахаридных цепей [2, 22]. Полосы при 2930–2848 см⁻¹ отнесены к валентным колебаниям С-Н [2, 22, 23]. Полоса при 1716–1725 см⁻¹ связана с колебаниями сложноэфирной группы [23]. Интенсивные и слабые полосы в области 1650–1550 см⁻¹ характеризуют асимметричные валентные колебания карбоксильных групп [11], что указывает на содержание уроновых кислот во всех образцах. Три полосы поглощения в области 1450–1314 см⁻¹ отнесены к деформационным колебаниям С-Н групп [2, 22]. Сигнал 1218–1280 см⁻¹ отнесен к валентным колебаниям С=О группы [22].

Анализ литературных данных показал, что каждый конкретный полисахарид имеет определенные характеристические полосы в области 1200–800 см⁻¹. В этой области преобладают колебания групп в кольце, перекрывающиеся растягивающими колебаниями боковых групп С-ОН и колебаниями гликозидной связи С-О-С. Инфракрасные спектры в области 1200–800 см⁻¹ дают информацию об основном структурном компоненте полисахаридов, при этом спектр определяется составом основного фрагмента, но также зависит от компонентов боковой цепи [24].

Таблица 1. Характеристика полисахаридов зверобоя продырявленного (*H.p.*), крапивы двудомной (*U.d.*), лабазника вязолистного (*F.u.*), золотой розги (*Sol.v.*), окопника лекарственного (*S.o.*), сирени обыкновенной (*Syr.v.*)

Объект	УК, %	Белок, %	Mw, кДа	Mn, кДа	Mw/Mn
<i>H.p.</i>	13.68±0.58	8.45±0.42	80.6	10.7	7.5
<i>U.d.</i>	13.73±0.50	7.77±0.39	39.6	5.7	6.9
<i>F.u.</i>	6.90±0.34	8.81±0.44	60.9	5.9	10.3
<i>Sol.v.</i>	4.92±0.25	7.24±0.36	165.4	5.3	31.2
<i>S.o.</i>	5.42±0.27	9.79±0.49	7.6	4.0	1.9
<i>Syr.v.</i>	15.44±0.77	25.00±1.24	93.0	11.0	8.5

Примечание: УК – уроновые кислоты, Mw – средневесовая молекулярная масса, Mn – среднечисленная молекулярная масса, Mw/Mn – коэффициент гетерогенности

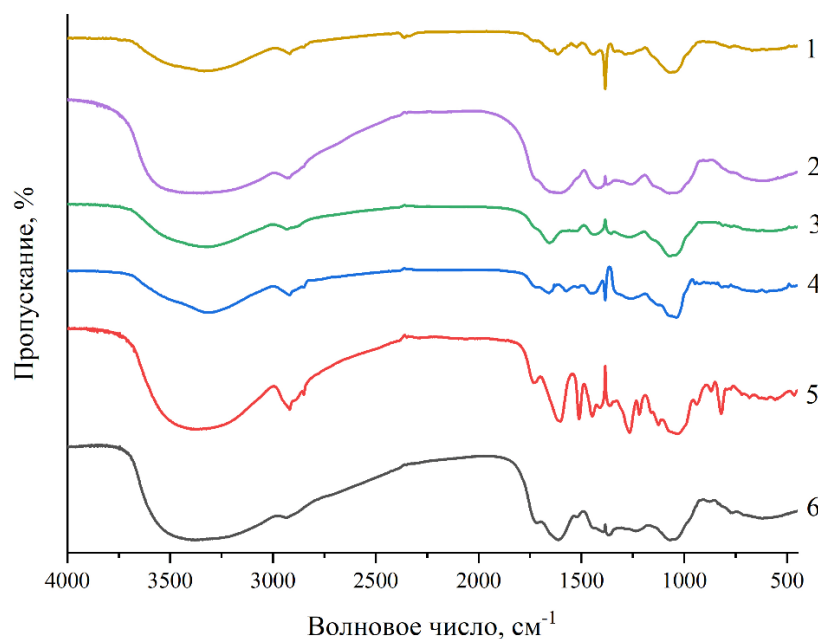
Таблица 2. Молекулярно-массовая характеристика полисахаридов зверобоя продырявленного (*H.p.*), крапивы двудомной (*U.d.*), лабазника вязолистного (*F.u.*), золотой розги (*Sol.v.*), корни окопника лекарственного (*S.o.*), цветки сирени обыкновенной (*Syr.v.*)

Объект	Количество фрагментов с соответствующей молекулярной массой (кДа)							
	400–300	299–200	199–150	149–100	99–50	49–30	29–10	менее 10
<i>H.p.</i>	–	1	1	1	6	4	6	11
<i>U.d.</i>	–	–	–	1	4	3	7	15
<i>F.u.</i>	–	–	1	1	4	3	6	15
<i>Sol.v.</i>	1	2	–	3	3	2	5	14
<i>S.o.</i>	–	–	–	–	–	–	6	24
<i>Syr.v.</i>	–	2	1	3	4	3	7	10

Таблица 3. Характеристика мономеров в полисахаридах зверобоя продырявленного (*H.p.*), крапивы двудомной (*U.d.*), лабазника вязолистного (*F.u.*), золотой розги (*Sol.v.*), окопника лекарственного (*S.o.*), сирени обыкновенной (*Syr.v.*)

Объект	Выход, х±0.01%	Содержание фрагментов моносахаров, %				
		Rha	Xyl	Glc	Gal	Gal-Ac
<i>H.p.</i>	0.15	–	51.00±4.10	–	–	49.00±3.92
<i>U.d.</i>	0.30	–	45.26±3.62	30.65±2.76	–	24.09±1.93
<i>F.u.</i>	0.13	26.66±2.40	73.34±5.87	–	–	–
<i>Sol.v.</i>	0.12	–	12.60±1.13	32.74±2.95	25.15±2.26	29.51±2.36
<i>S.o.</i>	0.92	–	26.95±2.43	44.70±3.58	–	28.35±2.27
<i>Syr.v.</i>	0.20	–	9.27±0.83	10.27±1.02	62.07±4.96	18.39±1.65

Примечание: Rha – рамноза, Xyl – ксилоза, Glc – глюкоза, Gal – галактоза, Gal-Ac – галактуроновая кислота; «–» – не было обнаружено.



ИК-спектры полисахаридов: 1 – зверобоя продырявленного, 2 – крапивы двудомной, 3 – цветков сирени обыкновенной, 4 – золотой розги, 5 – корней окопника лекарственного, 6 – лабазника вязолистного

Таблица 4. Характеристические полосы поглощения в ИК-спектрах полисахаридов зверобоя продырявленного (*H.p.*), крапивы двудомной (*U.d.*), лабазника вязолистного (*F.u.*), золотой розги (*Sol.v.*), корни окопника лекарственного (*S.o.*), цветки сирени обыкновенной (*Syr.v.*)

Объект	Полосы поглощения, см ⁻¹									
	О-Н	С-Н, ν	COOR	COOH	С-Н, δ	C=O, ν	С-О-С, С-С, С-ОН, в кольце		колебания С-Н в аномерном центре	
							пиранозы	фуранозы	β	α
<i>H.p.</i>	3334	2917, 2850	1735, 1717	1650, 1636, 1615, 1577, 1559	1440, 1384, 1339	1285, 1252	1069	1042	907	838
<i>U.d.</i>	3380	2925, 2850	1717	1615	1415, 1372, 1314	1258	1075	1040	917, 892	834 сла- бая по- лоса
<i>F.u.</i>	3400	2930	1716	1615, 1517	1441, 1393, 1360	1230	1067	1042	874	834
<i>Sol.v.</i>	3323	2917, 2850	1721	1658, 1625, 1573, 1515	1450, 1440, 1384	1254	1127, 1071	1038	946, 923, 870	841, 814
<i>S.o.</i>	3400	2917, 2848	1727	1602, 1509	1445, 1407, 1362	1260, 1218	1160, 1123, 1070	1031	938, 870	818
<i>Syr.v.</i>	3323	2930	1725	1654, 1544, 1513	1440, 1424, 1353	1260	1071	1042	915	834, 811

Таким образом, полосы, относящиеся к растягивающим колебаниям в пиранозном и фуранозном кольцах в области 1160, 1123–1127, 1067–1069, 1070–1075 см^{-1} , отнесены к колебаниям связей в пиранозах, 1040–1031 см^{-1} – в фуранозах [22, 23].

По данным литературы [24], ИК-полосы β -(1 \rightarrow 6)- или β -(1 \rightarrow 3)-связанного галактана наблюдаются примерно при 1155 и 1078–1072 см^{-1} , β -(1 \rightarrow 4)-маннана – при 1066–1064 см^{-1} , ксилоглюкана – при 1153 и 1041 см^{-1} . Полосы для α -связанного арабинана в основной цепи полисахаридов описаны при 1039 см^{-1} , в то время как полосы арабинанов в боковой цепи обнаружены примерно на 5 см^{-1} выше. Для свободного рамнопиранозида характерна полоса при 1055 см^{-1} , а рамнозы в боковых цепях – при 1043 см^{-1} , галактозы – при 1078 см^{-1} , маннозы – при 1070 см^{-1} , глюкозы – при 1035 см^{-1} . В случае рамногалактуронана основной максимум составляет около 1070 см^{-1} . Для β -арабиногалактанов описаны две полосы 1074–1078 и 1045–1043 см^{-1} , при этом первая полоса принадлежит галактопиранозе в основной цепи, а вторая – арабинофуранозным единицам в боковых ветвях [24]. Таким образом, одни и те же полосы в области 1030–1160 см^{-1} мономерных фрагментов полисахаридов нередко совпадают, перекрываются и не дают возможности достоверной идентификации того или иного фрагмента, но позволяют предварительно предположить форму кольца.

Полосы деформационных колебаний C–H в аномерном центре – около 907–870 см^{-1} позволяют предположить, что в испытуемых образцах присутствуют гликозидные связи β -типа, а полосы при 841–811 см^{-1} указывают на присутствие гликозидов α -типа [2, 11, 22, 24].

Таким образом, в результате исследования получены данные по химическому составу нативных водорастворимых полисахаридов шести видов растений, популярных в народной медицине в качестве противовоспалительных и/или иммуномодулирующих средств. Необходимо дальнейшее экспериментальное выявление данных видов активности изученных НВРПС с целью обоснования дальнейшего более глубокого исследования их химического состава.

Выводы

1. Получены нативные водорастворимые полисахариды (НВРПС) *Hypericum perforatum*, *Urtica dioica*, *Filipendula ulmaria*, *Solidago virgaurea*, *Symphytum officinale*, *Syringa vulgaris* из предварительно очищенного сырья водой без нагревания с выходом от 0.12 \pm 0.01 до 0.92 \pm 0.01%.

2. Преобладающими компонентами всех исследованных НВРПС являются нейтральные сахара, содержание урсонных кислот составило от 5–7% (*F. ulmaria*, *S. virgaurea*, *S. officinale*) до 14–15% (*H. perforatum*, *U. dioica*, *S. vulgaris*); белка (без дополнительной очистки) – порядка 7–10% (за исключением *S. vulgaris* – 25%).

3. НВРПС всех исследуемых видов однородны по молекулярной массе, имеют низкий коэффициент гетерогенности, не превышающий 10 ед. (за исключением *S. virgaurea* – 30 ед.); содержат по 1–6 фрагментов с молекулярной массой от 100 до 400 кДа и по 24–29 фрагментов с молекулярной массой от 10 до 100 кДа.

4. Мономерные фрагменты НВРПС *H. perforatum* представлены в равных частях ксилозой и галактуронозойной кислотой; *U. dioica* – ксилозой>глюкозой>галактуронозойной кислотой; *F. ulmaria* – ксилозой>рамнозой; *S. virgaurea* – глюкозой>галактозой и галактуронозойной кислотой>ксилозой; *S. officinale* – глюкозой>ксилозой и галактуронозойной кислотой; *S. vulgaris* – галактозой>галактуронозойной кислотой>ксилозой и глюкозой. Во всех НВРПС присутствуют пиранозные и фуранозные формы моносахаридных фрагментов, α - и β -тип гликозидных связей.

Финансирование

Данная работа финансировалась за счет средств бюджета Сибирского государственного медицинского университета и Томского государственного университета. Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство данным конкретным исследованием получено не было.

Конфликт интересов

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Открытый доступ

Эта статья распространяется на условиях международной лицензии Creative Commons Attribution 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), которая разрешает неограниченное использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при условии, что вы дадите соответствующие ссылки на автора(ов) и источник и предоставите ссылку на Лицензию Creative Commons и укажете, были ли внесены изменения.

Список литературы

1. Wang M., Li C., Li J., Hu W., Yu A., Tang H., Li J., Kuang H., Zhang H. Extraction, Purification, Structural Characteristics, Biological Activity and Application of Polysaccharides from *Portulaca oleracea* L. (Purslane): A Review // *Molecules*. 2023. Vol. 12, no. 28. 4813. <https://doi.org/10.3390/molecules28124813>.
2. Chen H., Sun J., Liu J., Gou Y., Zhang X., Wu X., Sun R., Tang S., Kan J., Qian C., Zhang N., Jin C. Structural characterization and anti-inflammatory activity of alkali-soluble polysaccharides from purple sweet Potato // *Int. J. Biol. Macromol.* 2019. Vol. 131. Pp. 484–494. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.03.126>.
3. Ramberg J.E., Nelson E.D., Sinnott R.A. Immunomodulatory dietary polysaccharides: a systematic review of the literature // *Nutrition Journal*. 2010. Vol. 9, no. 1. 54. <https://doi.org/10.1186/1475-2891-9-54>.
4. Соколов С.Я., Замотаев И.П. Справочник по лекарственным растениям (Фитотерапия). М., 1990. 428 с.
5. Злобин А.А., Мартинсон Е.А., Овечкина И.А., Дурнев Е.А., Оводова Р.Г., Литвинцев С.Г. Состав и свойства пектиновых полисахаридов зверобоя продырявленного *Hypericum perforatum* L. // *Химия растительного сырья*. 2011. №1. С. 33–38.
6. Heydarian M., Jooyandeh H., Naschi B., Noshad M. Characterization of *Hypericum perforatum* polysaccharides with antioxidant and antimicrobial activities: Optimization based statistical modeling // *Int. J. Biol. Macromol.* 2017. Vol. 104 (A). Pp. 287–293. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.06.049>.
7. Shang H., Zhou H., Duan M., Li R., Wu H., Lou Y. Extraction condition optimization and effects of drying methods on physicochemical properties and antioxidant activities of polysaccharides from comfrey (*Symphytum officinale* L.) root // *Int. J. Biol. Macromol.* 2018. Vol. 112. Pp. 889–899. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.01.198>.
8. Калинин О.В., Сычев И.А. Действие полисахарида крапивы двудомной на лейкоцитарную систему крови и фагоцитоз // *Потенциал современной науки*. 2017. Т. 27, №1. С. 60–63.
9. Калинин О.В., Сычев И.А. Действие полисахарида крапивы двудомной на кровь и кроветворение // *Вестник Тверского государственного университета. Серия: Биология и экология*. 2017. №1. С. 62–68.
10. Копытько Я.Ф., Лапинская Е.С., Сокольская Т.А. Применение, химический состав и стандартизация сырья и препаратов *Urtica* (обзор) // *Химико-фармацевтический журнал*. 2011. Т. 45, №10. С. 32–41. <https://doi.org/10.30906/0023-1134-2011-45-10-32-41>.
11. Olenikov D.N., Kashchenko N.I., Chirikova N.K. Meadowsweet Teas as New Functional Beverages: Comparative Analysis of Nutrients, Phytochemicals and Biological Effects of Four *Filipendula Species* // *Molecules*. 2017. Vol. 22. 16. <https://doi.org/10.3390/molecules22010016>.
12. Патент №2735080 (РФ). Средство на основе водорастворимых растительных полисахаридов, усиливающее секрецию оксида азота макрофагами *in vitro* / М.Г. Данилец, Е.Ю. Авдеева, А.А. Лигачёва, Я.Е. Решетов, А.М. Гурьев, Е.С. Трофимова, Е.Ю. Шерстобоев, М.В. Белоусов, М.С. Юсубов, К.И. Ровкина, С.В. Кривошеков. – 2020.
13. Решетов Я.Е., Лигачёва А.А., Авдеева Е.Ю., Данилец М.Г., Головченко В.В., Трофимова Е.С., Гулина Е.И., Шерстобоев Е.Ю., Гурьев А.М., Ровкина К.И., Кривошеков С.В., Белоусов М.В. Полисахариды трех видов *Saussurea* DC (*S. controversa*, *S. salicifolia*, *S. frolovii*): выделение, характеристика и влияние на NO-продуцирующие свойства макрофагов // *Химия растительного сырья*. 2019. №4. С. 77–85. <https://doi.org/10.14258/jcprm.2019045483>.
14. Государственная фармакопея Российской Федерации. XIV издание. Т. 1: Введение. Общие положения. Методы анализа лекарственных средств. Реактивы. М., 2018. 1814 с.
15. Dubois M., Gilles K.A., Hamilton J.K., Rebers P.A., Smith F. Colorimetric method for determination of sugars and related substances // *Anal. Chem.* 1956. Vol. 28. Pp. 350–356. <https://doi.org/10.1021/ac60111a017>.
16. Chen H.X., Zhang M., Qu Z.S., Xie B.J. Antioxidant activities of different fractions of polysaccharide conjugates from green tea (*Camellia sinensis*) // *Food Chem.* 2008. Vol. 106. Pp. 559–563. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.06.040>.
17. Li X.Y., Wang L., Wang Y., Xiong Z.H. Effect of drying method on physicochemical properties and antioxidant activities of *Hohenbuehelia serotina* polysaccharides // *Process Biochem.* 2016. Vol. 51. Pp. 1100–1108. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2016.05.006>.
18. Kong L.S., Yu L., Feng T., Yin X.J., Liu T.J., Dong L. Physicochemical characterization of the polysaccharide from *Bletilla striata*: effect of drying method // *Carbohydr. Polym.* 2015. Vol. 125. Pp. 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.02.042>.
19. Gan L., Hua Z.S., Liang Y., Bi X.H. Immunomodulation and antitumor activity by a polysaccharide-protein complex from *Lycium barbarum* // *Int. Immunopharmacol.* 2004. Vol. 4. Pp. 563–569. <https://doi.org/10.1016/j.intimp.2004.01.023>.
20. Schepetkin I.A., Quinn M.T. Botanical polysaccharides: macrophage immunomodulation and therapeutic potential // *Int. Immunopharmacol.* 2006. Vol. 6. Pp. 317–333. <https://doi.org/10.1016/j.intimp.2005.10.005>.
21. Song J.Y., Yang H.O., Pyo S.N., Jung I.S., Yi S.Y., Yun Y.S. Immunomodulatory activity of protein-bound polysaccharide extracted from *Chelidonium majus* // *Arch. Pharm. Res.* 2002. Vol. 25. Pp. 158–164. <https://doi.org/10.1007/BF02976557>.
22. Ma G., Yang W., Mariga A.M., Fang Y., Ma N., Pei F., Hu Q. Purification, characterization and antitumor activity of polysaccharides from *Pleurotus eryngii* residue // *Sci. Rep.* 2014. Vol. 114. Pp. 297–305. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.07.069>.

23. Liu J., Wen X., Zhang X., Pu H., Kan J., Jin C. Extraction, characterization and *in vitro* antioxidant activity of polysaccharides from black soybean // *Int. J. Biol. Macromol.* 2015. Vol. 72. Pp. 1182–1190. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2014.08.058>.
24. Kačuráková M., Capek P., Sasinková V., Wellner N., Ebringerová A. FT-IR study of plant cell wall model compounds: Pectic polysaccharides and hemicelluloses // *Carbohydr. Polym.* 2000. Vol. 43. Pp. 195–203. [https://doi.org/10.1016/S0144-8617\(00\)00151-X](https://doi.org/10.1016/S0144-8617(00)00151-X).

Поступила в редакцию 18 марта 2025 г.

После переработки 24 апреля 2025 г.

Принята к публикации 15 сентября 2025 г.

Avdeeva E.Yu.^{1*}, Reshetov Ya.E.¹, Gulina E.I.¹, Krivoshchekov S.V.¹, Saveleva A.N.¹, Zykova A.V.¹, Knyazev A.S.², Belousov M.V.¹ CHEMICAL CHARACTERIZATION OF NATIVE WATER-SOLUBLE POLYSACCHARIDES OF *HYPERICUM PERFORATUM* L., *URTICA DIOICA* L., *FILIPENDULA ULMARIA* (L.) MAXIM., *SOLIDAGO VIRGAUREA* L., *SYMPHYTUM OFFICINALE* L., *SYRINGA VULGARIS* L.

¹ Siberian State Medical University, Moskovsky trakt, 2, Tomsk, 634050, Russia, elenaavdeev@yandex.ru

² Tomsk State University, av. Lenina, 36, Tomsk, 634050, Russia

The aim was to study previously undescribed native water-soluble polysaccharides (NWSPS) of plant species used as anti-inflammatory and/or immunomodulatory agents. NWSPS are obtained with water without heating from raw materials previously purified from lipophilic and phenolic components, followed by ethanol precipitation and purification by dialysis. The protein and uronic acid content were determined by spectrophotometric method, the molecular mass characteristics by high-efficiency exclusion chromatography, the monosaccharide composition by gas chromatography, and infrared spectra were obtained. Neutral sugars are the predominant components of all the studied NWSPS. The retention of uronic acids ranged from 5–7% (*Filipendula ulmaria*, *Solidago virgaurea*, *Symphytum officinale*) to 14–15% (*Hypericum perforatum*, *Urtica dioica*, *Syringa vulgaris*); protein – about 7–10% (with the exception of *S. vulgaris*). All the studied species have NWSPS that are homogeneous in molecular weight and have a low coefficient of heterogeneity (with the exception of *S. virgaurea*); they contain 1–6 fragments with a molecular weight from 100 to 400 kDa and 24–29 fragments with a molecular weight from 10 to 100 kDa. Monomeric fragments of *H. perforatum* NWSPS are represented in equal parts by xylose and galacturonic acid; *U. dioica* – xylose>glucose>galacturonic acid; *F. ulmaria* – xylose>rhamnose; *S. virgaurea* – glucose>galactose and galacturonic acid>xylose; *S. officinale* – glucose>xylose and galacturonic acid; *S. vulgaris* – galactose>galacturonic acid>xylose and glucose. Pyranose and furanose forms of monosaccharide fragments, α - and β -type glycosidic bonds are present in all NWSPS. It seems promising to further investigate the anti-inflammatory and/or immunomodulatory activity of the described NWSPS in order to justify further in-depth investigation of the chemical composition of polysaccharide complexes with proven biological activity.

Keywords: polysaccharides, *Hypericum perforatum* L., *Urtica dioica* L., *Filipendula ulmaria* (L.) Maxim., *Solidago virgaurea* L., *Symphytum officinale* L., *Syringa vulgaris* L.

For citing: Avdeeva E.Yu., Reshetov Ya.E., Gulina E.I., Krivoshchekov S.V., Saveleva A.N., Zykova A.V., Knyazev A.S., Belousov M.V. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2025, no. 4, pp. 80–89. (in Russ.). <https://doi.org/10.14258/jcprm.20250417020>.

References

1. Wang M., Li C., Li J., Hu W., Yu A., Tang H., Li J., Kuang H., Zhang H. *Molecules*, 2023, vol. 12, no. 28, 4813. <https://doi.org/10.3390/molecules28124813>.
2. Chen H., Sun J., Liu J., Gou Y., Zhang X., Wu X., Sun R., Tang S., Kan J., Qian C., Zhang N., Jin C. *Int. J. Biol. Macromol.*, 2019, vol. 131, pp. 484–494. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.03.126>.
3. Ramberg J.E., Nelson E.D., Sinnott R.A. *Nutrition Journal*, 2010, vol. 9, no. 1, 54. <https://doi.org/10.1186/1475-2891-9-54>.
4. Sokolov S.Ya., Zamotayev I.P. *Spravochnik po lekarstvennym rasteniyam (Fitoterapiya)*. [Handbook of medicinal plants (Phytotherapy)]. Moscow, 1990, 428 p. (in Russ.).
5. Zlobin A.A., Martinson Ye.A., Ovechkina I.A., Durnev Ye.A., Ovodova R.G., Litvinets S.G. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2011, no. 1, pp. 33–38. (in Russ.).
6. Heydarian M., Jooyandeh H., Nasehi B., Noshad M. *Int. J. Biol. Macromol.*, 2017, vol. 104 (A), pp. 287–293. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.06.049>.
7. Shang H., Zhou H., Duan M., Li R., Wu H., Lou Y. *Int. J. Biol. Macromol.*, 2018, vol. 112, pp. 889–899. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.01.198>.
8. Kalinkina O.V., Sychev I.A. *Potentsial sovremennoy nauki*, 2017, vol. 27, no. 1, pp. 60–63. (in Russ.).

* Corresponding author.

9. Kalinkina O.V., Sychev I.A. *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Biologiya i ekologiya*, 2017, no. 1, pp. 62–68. (in Russ.).
10. Копыт'ко Ya.F., Lapinskaya Ye.S., Sokol'skaya T.A. *Khimiko-farmatsevticheskiy zhurnal*, 2011, vol. 45, no. 10, pp. 32–41. <https://doi.org/10.30906/0023-1134-2011-45-10-32-41>. (in Russ.).
11. Olenikov D.N., Kashchenko N.I., Chirikova N.K. *Molecules*, 2017, vol. 22, 16. <https://doi.org/10.3390/molecules22010016>.
12. Patent 2735080 (RU). 2020. (in Russ.).
13. Reshetov Ya.Ye., Ligachova A.A., Avdeyeva Ye.Yu., Danilets M.G., Golovchenko V.V., Trofimova Ye.S., Gulina Ye.I., Sherstoboyev Ye.Yu., Gur'yev A.M., Rovkina K.I., Krivoshechekov S.V., Belousov M.V. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2019, no. 4, pp. 77–85. <https://doi.org/10.14258/jcprm.2019045483>. (in Russ.).
14. *Gosudarstvennaya farmakopeya Rossiyskoy Federatsii. XIV izdaniye. T. 1: Vvedeniye. Obshchiye polozheniya. Metody analiza lekarstvennykh sredstv. Reaktivy.* [State Pharmacopoeia of the Russian Federation. XIV edition. Vol. 1: Introduction. General Provisions. Methods of Analysis of Medicines. Reagents]. Moscow, 2018, 1814 p. (in Russ.).
15. Dubois M., Gilles K.A., Hamilton J.K., Rebers P.A., Smith F. *Anal. Chem.*, 1956, vol. 28, pp. 350–356. <https://doi.org/10.1021/ac60111a017>.
16. Chen H.X., Zhang M., Qu Z.S., Xie B.J. *Food Chem.*, 2008, vol. 106, pp. 559–563. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.06.040>.
17. Li X.Y., Wang L., Wang Y., Xiong Z.H. Effect of drying method on physicochemical properties and antioxidant activities of *Hohenbuehelia serotina* polysaccharides // *Process Biochem.* 2016, vol. 51. Pp. 1100–1108. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2016.05.006>.
18. Kong L.S., Yu L., Feng T., Yin X.J., Liu T.J., Dong L. *Carbohydr. Polym.*, 2015, vol. 125, pp. 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.02.042>.
19. Gan L., Hua Z.S., Liang Y., Bi X.H. *Int. Immunopharmacol.*, 2004, vol. 4, pp. 563–569. <https://doi.org/10.1016/j.intimp.2004.01.023>.
20. Schepetkin I.A., Quinn M.T. *Int. Immunopharmacol.*, 2006, vol. 6, pp. 317–333. <https://doi.org/10.1016/j.intimp.2005.10.005>.
21. Song J.Y., Yang H.O., Pyo S.N., Jung I.S., Yi S.Y., Yun Y.S. *Arch. Pharm. Res.*, 2002, vol. 25, pp. 158–164. <https://doi.org/10.1007/BF02976557>.
22. Ma G., Yang W., Mariga A.M., Fang Y., Ma N., Pei F., Hu Q. *Sci. Rep.*, 2014, vol. 114, pp. 297–305. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.07.069>.
23. Liu J., Wen X., Zhang X., Pu H., Kan J., Jin C. *Int. J. Biol. Macromol.*, 2015, vol. 72, pp. 1182–1190. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2014.08.058>.
24. Kačuráková M., Capek P., Sasinková V., Wellner N., Ebringerová A. *Carbohydr. Polym.*, 2000, vol. 43, pp. 195–203. [https://doi.org/10.1016/S0144-8617\(00\)00151-X](https://doi.org/10.1016/S0144-8617(00)00151-X).

Received March 18, 2025

Revised April 24, 2025

Accepted September 15, 2025

Сведения об авторах

Авдеева Елена Юрьевна – доктор фармацевтических наук, доцент, профессор кафедры фармацевтического анализа, elenaavdeev@yandex.ru

Решетов Ярослав Евгеньевич – кандидат фармацевтических наук, доцент кафедры фармацевтического анализа, ferroplex2013@yandex.ru

Гулина Екатерина Игоревна – кандидат фармацевтических наук, доцент кафедры фармацевтического анализа, e.gulina1@gmail.com

Кривошеков Сергей Владимирович – кандидат химических наук, доцент кафедры фармацевтического анализа, ksv_tsu@mail.ru

Савельева Анастасия Николаевна – аспирант, violet.feel.2000@mail.ru

Зыкова Анастасия Васильевна – аспирант, anastasya.zykova@mail.ru

Князев Алексей Сергеевич – доктор химических наук, директор Томского Инжинирингового химико-технологического центра, kas854@mail.ru

Белосов Михаил Валерьевич – доктор фармацевтических наук, профессор, заведующий кафедрой фармацевтического анализа, mvb63@mail.ru

Information about authors

Avdeeva Elena Yuryevna – Doctor of Pharmaceutical Sciences, Associate Professor, Professor in the Department of Pharmaceutical Analysis, elenaavdeev@yandex.ru

Reshetov Yaroslav Evgenievich – Candidate of Pharmaceutical Sciences, Associate Professor in the Department of Pharmaceutical Analysis, ferroplex2013@yandex.ru

Gulina Ekaterina Igorevna – Candidate of Pharmaceutical Sciences, Associate Professor in the Department of Pharmaceutical Analysis, e.gulina1@gmail.com

Krivoshekov Sergey Vladimirovich – Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor in the Department of Pharmaceutical Analysis, ksv_tsu@mail.ru

Savelyeva Anastasia Nikolaevna – Postgraduate Student, violet.feel.2000@mail.ru

Zykova Anastasia Vasilyevna – Postgraduate Student, anastasya.zykova@mail.ru

Knyazev Aleksey Sergeevich – Doctor of Chemical Sciences, Director of the Tomsk Engineering Chemical-Technological Center, kas854@mail.ru

Belousov Mikhail Valerievich – Doctor of Pharmaceutical Sciences, Professor, Head of the Department of Pharmaceutical Analysis, mvb63@mail.ru