

УДК 612.396.11

ПОЛИСАХАРИДЫ НАДЗЕМНОЙ ЧАСТИ *TRIBULUS TERRESTRIS*, ПРОИЗРАСТАЮЩЕГО В УЗБЕКИСТАНЕ

© А.А. Сиддикова¹, Т.А. Хажобаев^{1*}, Ф.А. Кодиралиева¹, М.А. Эшонов², Р.М. Халилов¹

¹ Институт химии растительных веществ им. акад. С.Ю. Юнусова
АН РУз, ул. Мирзо Улугбека, 77, Ташкент, 100170, Узбекистан,
hajibaev84@mail.ru

² Национальный университет Узбекистана им. Мирзо Улугбека,
ул. Университетская, 4, Ташкент, 100174, Узбекистан

Из надземной части *Tribulus terrestris* выделены полисахаридные компоненты, включающие 7.7% водорастворимые полисахариды (ВРПС), 6.5% пектиновые вещества (ПВ) и 13.4% гемицеллюлозы (ГМЦ). Изучение моносахаридного состава показало, что манноза (Man) во всех составляющих полисахаридов отсутствует. Установлено, что основными моносахаридами ВРПС являются галактоза (Gal), глюкоза (Glc) и арабиноза (Ara), а также небольшие количества ксилозы (Xyl) и 25–30% уроновой кислоты (UA). При этом моносахаридный состав очищенного полисахарида представляет собой Ara, Glc и Gal в соотношении 1 : 2.2 : 3.3. Полученные ПВ из надземной части *T. terrestris* представляли собой порошок кремового цвета с желтоватым оттенком. ПВ характеризовались высоким содержанием Gal, Glc, Ara, Rha, небольшим количеством Xyl и 50% UA. Выявлено, что пектины надземной части *T. terrestris* относятся к высокоэтерифицированным (степень этерификации (λ) составляет 88.0%). Основная цепь представляет собой α -1,4-галактуронан, нейтральные сахара занимают периферийное положение по отношению к основной цепи. В моносахаридном составе обеих фракций ГМЦ выявлено наличие Gal, Glc, Ara, Xyl, Rha и 55–60% UA.

Ключевые слова: *Tribulus terrestris*, водорастворимые полисахариды, пектиновые вещества, экстракция, гидролиз, уроновые кислоты.

Для цитирования: Сиддикова А.А., Хажобаев Т.А., Кодиралиева Ф.А., Эшонов М.А., Халилов Р.М. Полисахариды надземной части *Tribulus terrestris*, произрастающего в Узбекистане // Химия растительного сырья. 2026. №2. С. 121–131. <https://doi.org/10.14258/jcprm.20260216967>.

Введение

Tribulus terrestris L. (рус. – якорцы стелющиеся) из семейства Zygophyllaceae (парнолистниковые) произрастает в юго-восточной и средиземноморской Европе, в умеренных и тропических регионах Азии и Африки, а также на севере Австралии. На территории стран СНГ растение имеет широкий ареал, включающий Молдавию, Кавказ, юго-восток Украины и Среднюю Азию [1, 2]. *T. terrestris* широко используется в народной и современной медицине. Показаны различные фармакологические свойства *T. terrestris*, в том числе диуретическое, тонизирующее, иммуномодулирующее, антидиабетическое, сосудорасширяющее, гипотензивное, гипополипидемическое, противоопухолевое, противовоспалительное, обезболивающее, антиоксидантное, антимикробное, гепатопротекторное и кардиотоническое действие [3–10]. Установлено, что полисахариды и водный экстракт *T. terrestris* значительно стимулируют рост *Lactobacillus brevis* [11], а этанольные экстракты растения обладают выраженным нефропротективным эффектом [12].

В Институте химии растительных веществ (ИХРВ) разработана технология получения и запущено серийное производство субстанции «Сухой экстракт трибулуса» (ФС 42 Уз-3283-2021), содержащей не менее 45% фураностаноловых сапонинов в пересчете на протодиосцин (C₅₁H₈₄O₂₂, М.м. 1049.2), предназначенной для наращивания силы и мышечной массы тела [13].

Различные части *T. terrestris* содержат множество химических компонентов, важных с медицинской точки зрения, таких как флавоноиды, флавонолгликозиды, стероидные сапонины, алкалоиды, полисахариды

* Автор, с которым следует вести переписку.

и танины [3, 14, 15]. С помощью хроматографии на DEAE-целлюлозе и гель-фильтрации из *T. terrestris* был выделен водный кислый полисахарид – рамногалактуронан (М.м. 26 кДа). Рамногалактурон включает галактуроновою кислоту, рамнозу, арабинозу, галактозу, фукозу, маннозу, ксилозу и глюкозу в соотношении 71.4 : 13.5 : 5.6 : 4.9 : 3.1 : 1.9 : 1.9 : 1.0. Основная цепь рамногалактурона представляет собой кислый гетерополисахарид, содержащий α -(1→4)-связи галактуроновою кислоты и α -(1→3)-связи рамнозы [16]. Другие авторы сообщают, что полисахариды, выделенные из стеблей и листьев *T. terrestris*, представляют собой смесь гетерополисахаридов, включающих арабинозу, рамнозу, ксилозу, галактуроновою кислоту, галактозу, глюкозу и маннозу в молярных соотношениях 6.0 : 2.1 : 1 : 3.6 : 3.4 : 7.7 : 2.9. Однородный полисахарид Н, полученный после фракционирования и последующей очистки, содержит арабинозу, рамнозу, ксилозу, галактуроновою кислоту, галактозу и глюкозу в соотношении 1.6 : 2.4 : 0.1 : 3.5 : 1.3 : 1. Его молекулярная масса составляет 1×10 кДа. Полисахарид Н имеет основную цепь, состоящую из чередующихся звеньев α -D-галактуроновою кислоты (1→4) и L-рамнозы (1→2), с несколькими боковыми цепями рамнозы [17].

Известно, что лекарственное растительное сырье, помимо основного извлекаемого вещества, содержит и другие виды биологически активных соединений, которые обычно утилизируются как отходы производства. Рациональная переработка этих отходов позволяет получать биологически активные субстанции – потенциальные основы новых фармацевтических препаратов – из одного и того же растительного сырья [18, 19].

Учитывая вышеизложенное, в ИХРВ создано гипоазотемическое средство (условно названное «Трибуренал») на основе биологически активных веществ шрота *T. terrestris*, образующегося после пятикратной экстракции 70%-ным этиловым спиртом. На основании фармакологических исследований установлено, что Трибуренал, содержащий полисахариды и дубильные вещества, обладает выраженной гипоазотемической активностью, снижает полиурию, оказывает благоприятное влияние на функциональное состояние почек и показатели белкового обмена на ранних сроках патологического процесса при острой почечной недостаточности токсической этиологии. На фоне острой почечной недостаточности Трибуренал ингибирует процессы перекисного окисления липидов в почках. По своей нефропротекторной активности Трибуренал не уступает референс-препарату Леспефрилу (ЗАО «Вифитех», Россия) [20, 21].

Исходя из того, что одним из основных действующих веществ Трибуренала являются полисахариды, исследования по изучению углеводного состава надземной части *T. terrestris* являются актуальными.

Цель исследования – изучить углеводный состав надземной части *T. terrestris*.

Экспериментальная часть

Для проведения экспериментов было заготовлено сырье надземной части *T. terrestris*, собранной в 2024 году в период с 20 августа по 10 сентября в Ташкентской области Республики Узбекистан.

Полный кислотный гидролиз полисахаридов проводили при 100 °С. Водорастворимые полисахариды (ВРПС) гидролизовали 1 н. H_2SO_4 в течение 8 ч, пектиновые вещества (ПВ) и гемицеллюлозы (ГМЦ) – 2 н. H_2SO_4 в течение 24 ч. Гидролизаты нейтрализовали $CaCO_3$, деионизировали катионитом КУ-2(H^+) и анализировали методом бумажной хроматографии (БХ) на фильтровальной бумаге Filtrak FN-12 в системе растворителей *n*-бутанол-пиридин-вода (6 : 4 : 3, нисходящий метод). Моносахариды выявляли с использованием проявителей: (1) кислого фталата анилина (5 мин, 100 °С) и (2) 0.5% спиртового раствора мочевины (100 °С).

Количество галактуроновою кислоты (ГК) определяли фотоэлектроколориметрическим методом на основе цветной реакции с карбазолом [22].

Газохроматографический (ГХ) анализ образцов проводили на хроматографе Shimadzu GC-2010 с пламенно-ионизационным детектором, используя кварцевую капиллярную колонку Shimadzu Rxi-624Sil MS (30 м × 0.25 мм × 1.40 мкм). Скорость подвижной фазы (N_2) составляла 1.5 мл/мин; температура инжектора – 260 °С, детектора – 280 °С, колонки – 230 °С. Образцы анализировали в виде ацетатов альдонитрилов [23].

ИК-спектры образцов регистрировали на спектрометрах PerkinElmer FT-IR/NIR Spectrum 3 и модели 2000 в диапазоне 4000–400 cm^{-1} с использованием НПВО-системы [24].

Для определения свободных карбоксильных групп (Кс) 0.25 г промытого и высушенного пектина растворяли в 100 мл очищенной воды, нагретой до 40 °С. Раствор выдерживали в течение 2 ч и титровали 0.1 н раствором гидроксида натрия в присутствии фенолфталеина до слабой розовой окраски [22, 25]. Содержание свободных карбоксильных групп $COOH$ (%) вычисляли по формуле (1):

$$K_c = \frac{a}{p} \cdot 0.45, \quad (1)$$

где a – количество 0.1 н раствора NaOH, израсходованное на титрование, мл; p – навеска пектина и водорастворимого полисахарида, г.

Этерифицированные карбоксильные группы (Кэ) определяли следующим образом: к пробе, нейтрализованной при определении свободных карбоксильных групп, прибавляли точно 50 мл 0.1 н раствора NaOH, закрывали колбу и оставляли на 2 ч при комнатной температуре для омыления метоксилированных COOH-групп. Затем вносили точно 50 мл 0.1 н HCl, и избыток кислоты оттитровывали 0.1 н раствором NaOH. Содержание этерифицированных карбоксильных групп (%) вычисляли по формуле (2):

$$K_s = \frac{B}{p} \cdot 0.45, \quad (2)$$

где B – количество 0.1 н NaOH, необходимое для второго титрования, мл; p – навеска промытого пектина и водорастворимого полисахарида, г.

Общее количество карбоксильных групп (K_o) определяли как сумму свободных и этерифицированных групп (формула (3)):

$$K_o = K_c + K_s \quad (3)$$

Степень этерификации пектина (λ) показывает количество этерифицированных карбоксильных групп в процентах от всех карбоксильных групп (формула (4)):

$$\lambda = \frac{K_s}{K_o} \cdot 100. \quad (4)$$

Вязкость растворов ВРПС, ПВ и ГМЦ определяли вискозиметрическим методом с использованием вискозиметра Оствальда. Сущность метода заключалась в приготовлении серии водных растворов исследуемых веществ и измерении времени истечения определенного объема раствора через капилляр радиусом R и длиной L [26]. Навеску исследуемого образца (0.5 г) растворяли в 50 мл горячей воды и выдерживали сутки. Остальные растворы готовили путем последовательного разбавления исходного.

Пипеткой отбирали 15 мл раствора, помещали в вискозиметр и измеряли время истечения раствора трехкратно. Затем аналогично измеряли время истечения остальных растворов. Относительную вязкость ($\eta_{отн}$) рассчитывали как отношение времени истечения раствора данной концентрации t к времени истечения растворителя t_0 (формула (5)).

$$\eta_{отн} = \frac{t}{t_0} \quad (5)$$

Удельную вязкость ($\eta_{уд}$) в мг/мл определяли отношением разности между вязкостями раствора (η) и чистого растворителя (η_0) к вязкости чистого растворителя (формула (6)):

$$\eta_{уд} = \frac{\eta - \eta_0}{\eta_0} = \eta - 1 \quad (6)$$

Приведенную вязкость ($\eta_{пр}$), отнесенную к концентрации раствора C , рассчитали по формуле (7):

$$\eta_{пр} = \frac{\eta_{уд}}{C}. \quad (7)$$

Инактивацию сырья проводили по следующей методике: измельченное сырье (100 г надземной части) дважды экстрагировали 200 мл кипящего 82% этилового спирта в течение 1.5 ч. Спиртовые экстракты

отделяли фильтрованием, объединяли, упаривали и анализировали методом БХ в системе *n*-бутанол-пирин-дин-вода (6 : 4 : 3). Идентифицировали глюкозу (проявитель 1), фруктозу и сахарозу (проявитель 2).

Выделение ВРПС осуществляли следующим образом: остаток сырья обрабатывали водой при комнатной температуре (23–24 °С) в течение 2 ч при постоянном перемешивании при гидромодуле 1 : 8 и 1 : 5. Экстракты отделяли, упаривали и осаждали спиртом. Осадок отфильтровывали, промывали и высушивали спиртом. Получали образец ВРПС-х.

Затем остаток сырья дважды обрабатывали горячей водой при 80–85 °С в течение 2 ч при гидромодуле 1 : 5 и 1 : 2. Экстракты перерабатывали аналогично. Получали образец ВРПС-г.

После выделения ВРПС остаток сырья экстрагировали смесью 0.5% раствора щавелевой кислоты и оксалата аммония (1 : 1) при 75 °С дважды по 2–3 ч при гидромодуле 1 : 4 и 1 : 2. Экстракты объединяли, упаривали, диализовали и осаждали двойным объемом спирта, затем высушивали. Получали образец ПВ.

Остаток после выделения ПВ дважды экстрагировали 5% раствором КОН при комнатной температуре в течение 4 ч при гидромодуле 1 : 1. Экстракты объединяли, нейтрализовали 80% уксусной кислотой, и выпавший осадок гемицеллюлозы (ГМЦ-А) отделяли центрифугированием, промывали и высушивали спиртом. Центрифугат диализовали до нейтральной среды, упаривали, осаждали двойным объемом спирта, промывали и высушивали, получая ГМЦ-Б.

Фракционирование ВРПС осуществляли следующим образом: 1.34 г ВРПС растворяли в 134 мл воды, затем при перемешивании добавляли 67 мл спирта. Осадок отделяли (фракция I, выход 0.08 г). К надосадочной жидкости добавляли 134 мл спирта (фракция II, выход 0.51 г), затем 201 мл спирта (фракция III, выход 0.20 г). Далее добавляли 268 мл спирта и выделяли фракцию IV (0.09 г). Фракцию V получали упариванием маточного раствора (0.03 г).

Изучение химического состава трибуренала осуществляли по следующей методике: 30.0 г образца 4 растворяли в 100 мл дистиллированной воды, и полисахариды осаждали, приливая этиловый спирт в соотношении 1 : 3. Осадок центрифугировали и сушили. Получали 11.12 г белково-полисахаридного осадка (37.3%).

Из белково-полисахаридного осадка водорастворимые полисахариды выделяли методом Севага. Для этого 11.12 г вещества растворяли в 200 мл воды, добавляли 50 мл хлороформа и 12.5 мл бутанола, затем центрифугировали. Осажденные белки удаляли фильтрацией. Получали 2 г белка (6.67%). Водную фракцию, содержащую полисахариды, отделяли, концентрировали и осаждали 96% этиловым спиртом (1 : 3), затем сушили. Выход составлял 9.2 г (30.73%).

0.1 г полисахарида растворяли в 0.5 мл воды и гидролизовали путем добавления 3 мл 1 н H₂SO₄ при 100 °С в течение 8 ч. Гидролизат нейтрализовали BaCO₃, фильтровали, выдерживали 2 ч, обрабатывали катионитом и снова фильтровали. Гидролизат концентрировали и анализировали методом БХ и ИК-спектроскопии.

Для получения субстанции трибуренала сырье готовили из шрота *T. terrestris*, полученного в «Научно-технологическом центре по требованиям GMP» ИХРВ. Шрот представляет собой отход производства субстанции «Сухой экстракт трибулуса», содержащей ≥45% фураностаноловых сапонинов в пересчете на протодиосцин. Исходный шрот содержал около 30% влаги (включая этанол), поэтому его высушивали в сушильном аппарате с принудительной вентиляцией при следующих условиях: толщина слоя – 20 мм; скорость воздуха – 15 м/с; температура ≤70 °С; продолжительность ≥5 ч. После сушки содержание влаги составляло 6.0%. Этот материал использовали как сырье для получения сухих экстрактов.

Высушенный шрот четырехкратно экстрагировали 40% этиловым спиртом при 60 °С и гидромодуле 1 : 18 по 3 ч каждое настаивание. Объединенный экстракт концентрировали до 15% сухих веществ и сушили в распылительной сушилке при температуре сушильного агента 170–180 °С на входе и 85–90 °С на выходе, подавая раствор со скоростью 5 л/ч под давлением 0.2 МПа.

Полученная субстанция трибуренала имела следующие органолептические и физико-химические показатели: потеря в массе при высушивании – 4.28±0.09%; сульфатная зола – 0.032±0.01%; тяжелые металлы – 0.0001±3·10⁻⁸%; содержание полисахаридов – 22.14±0.43%.

Обсуждение результатов

Исследования полисахаридного состава показали, что в надземной части *T. terrestris* содержится 7.7% ВРПС, 6.5% ПВ и 13.4% ГМЦ. Изучение моносахаридного состава показало, что манноза (Man) во всех исследованных полисахаридах отсутствует (табл. 1).

ВРПС и ПВ представляли собой аморфные порошки, хорошо растворимые в воде с образованием вязких растворов (относительная вязкость 1.07–101.8 мг/мл).

Из таблицы 1 видно, что основными моносахаридами ВРПС являются галактоза (Gal), глюкоза (Glc) и арабиноза (Ara), а в меньших количествах – ксилоза (Xyl) и уруновая кислота (UA). Манноза (Man) и рамноза (Rha) не обнаружены. Для ВРПС-х и ВРПС-г характерно повышенное содержание UA – 25 и 30% соответственно (табл. 1).

Полученные ПВ из надземной части *T. terrestris* представляли собой порошок кремового цвета с желтоватым оттенком. ПВ характеризовались высоким содержанием Gal, Glc, Ara и Rha, присутствием небольших количеств Xyl, а также 50% UA (табл. 1). В гидролизатах пектиновых веществ наряду с нейтральными моносахаридами обнаруживалась галактуронозная кислота. Титриметрическим методом установлено, что ПВ содержат 2.34% свободных карбоксильных групп (Kс), 17.3% этерифицированных карбоксильных групп (Kэ) и 19.6% общего содержания карбоксильных групп (K_о), при степени этерификации (λ), равной 88.0%. Таким образом, пектины надземной части *T. terrestris* относятся к высокоэтерифицированным; их основная цепь представляет собой α -1,4-галактуронан, а нейтральные сахара расположены в виде боковых цепей.

ГМЦ-А и ГМЦ-Б представляют собой аморфные порошки коричневого цвета, растворимые в слабых растворах щелочей. В их моносахаридном составе присутствуют Gal, Glc, Ara, Xyl и Rha, при этом доминируют Ara и Xyl. Для ГМЦ-А и ГМЦ-Б характерно содержание UA на уровне 55 и 60% соответственно (табл. 1).

Большинство свойств высокомолекулярных соединений, к которым относятся полисахариды, определяется их вязкостью, от которой зависит способность к набуханию и растворению. Согласно полученным данным, вязкость ПВ значительно выше, чем у ВРПС и ГМЦ (табл. 2).

Таблица 1. Выход полисахаридов и их моносахаридный состав из н/ч *T. terrestris*

| Тип ПС | Выход, % | Соотношение моносахаридных остатков, ГХ | | | | | | UA, % |
|--------|----------|---|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| | | Gal | Glc | Ara | Man | Xyl | Rha | |
| ВРПС-х | 6.0 | 3.3 | 3.0 | 3.1 | – | 1.0 | – | 25 |
| ВРПС-г | 1.7 | 3.4 | 3.2 | 3.0 | – | 1.0 | – | 30 |
| ПВ | 6.5 | 3.0 | 1.5 | 4.5 | – | 1.0 | 2.0 | 50 |
| ГМЦ-А | 4.0 | 2.0 | 1.0 | 4.0 | – | 5.0 | 1.5 | 55 |
| ГМЦ-Б | 9.4 | 1.8 | 1.0 | 3.7 | – | 4.8 | 1.3 | 60 |

Таблица 2. Вязкость полисахаридов из н/ч *T. terrestris*

| Тип ПС | Концентрация (С), % | Время истечения (t), с H ₂ O: 27 | $\eta_{\text{отн}}$ | $\eta_{\text{уд}}$ | $\eta_{\text{пр}}$ |
|--------|---------------------|--|---------------------|--------------------|--------------------|
| ВРПС-х | 1 | 29 | 1.07 | 0.07 | 0.07 |
| | 2 | 30 | 1.11 | 0.11 | 0.05 |
| | 3 | 32 | 1.18 | 0.18 | 0.06 |
| | 4 | 34 | 1.26 | 0.26 | 0.065 |
| ВРПС-г | 1 | 30 | 1.11 | 0.11 | 0.11 |
| | 2 | 32 | 1.18 | 0.185 | 0.09 |
| | 3 | 34 | 1.26 | 0.259 | 0.086 |
| | 4 | 38 | 1.4 | 0.40 | 0.10 |
| ПВ | 1 | 202.5 | 7.50 | 6.5 | 6.5 |
| | 2 | 625.0 | 23.10 | 22.1 | 11.06 |
| | 3 | 1545.0 | 57.2 | 56.2 | 18.74 |
| | 4 | 2751.0 | 101.8 | 100.8 | 25.12 |
| ГМЦ-А | 1 | 29 | 1.07 | 0.074 | 0.074 |
| | 2 | 38 | 1.40 | 0.40 | 0.20 |
| | 3 | 46 | 1.70 | 0.70 | 0.23 |
| | 4 | 54 | 2.0 | 1.0 | 0.25 |
| ГМЦ-Б | 1 | 32 | 1.18 | 0.2 | 0.20 |
| | 2 | 44 | 1.63 | 0.6 | 0.31 |
| | 3 | 57 | 2.10 | 1.11 | 0.37 |
| | 4 | 66 | 2.44 | 1.44 | 0.36 |

Примечание: относительная вязкость является безразмерной величиной.

ВРПС из н/ч *T. terrestris* получали экстракцией холодной водой с последующей очисткой раствором Фелинга. Установлено, что моносахаридный состав очищенного полисахарида представляет собой Ara, Glc и Gal в соотношении 1 : 2.2 : 3.3. Результаты гель-хроматографии показали гетерогенность полисахарида.

Для получения гомогенной фракции данный полисахарид фракционировали спиртом. Для этого 1.34 г ВРПС растворяли в 134 мл воды и при перемешивании добавляли 67 мл спирта. Выпавший осадок отделяли и получили фракцию I с выходом 0.08 г. К надосадочному раствору добавляли еще 134 мл спирта и получили фракцию II с выходом 0.51 г. Добавив к надосадочному раствору еще 201 мл спирта, получили фракцию III с выходом 0.2 г. Далее к спиртовому раствору добавляли еще 268 мл спирта и выделили фракцию IV с выходом 0.09 г. Фракцию V выделяли упариванием из маточного раствора в виде сиропа с выходом 0.03 г.

Полный кислотный гидролиз показал, что все фракции в основном состоят из Gal, Glc и Ara и отличаются лишь количественным соотношением компонентов. Установлено, что наибольший выход имеет фракция II, а вязкость фракции I выше, чем у остальных выделенных фракций (табл. 3).

Полосы, обнаруженные в ИК-спектре, позволяют отнести анализируемое вещество к карбоксиполисахаридам. В ИК-спектре ВРПС *T. terrestris* (рис. 1) широкая и интенсивная полоса поглощения при 3305 см⁻¹ характеризует многочисленные ОН-группы в полисахариде. Полоса поглощения слабой интенсивности при 2977 см⁻¹ соответствует СН-группам.

Карбоксиполисахаридам характерно наличие ионизированных карбоксильных групп COO⁻, связанных с металлами, что проявляется в ИК-спектре полосами поглощения при 1575 и 1405 см⁻¹. Полоса поглощения при 1194 см⁻¹ обусловлена колебаниями сложноэфирных и метильных фрагментов. Полосы поглощения при 1123, 1087 и 1049 см⁻¹ формируются за счет колебаний известных фрагментов: -С-О-, -С-С-С-ОН, С-О-С и др. Типы гликозидных связей в полисахариде проявляются полосами поглощения в низкочастотной области: β-гликозидная связь наблюдается после 880 см⁻¹.

Таким образом, анализ ИК-спектра полученного соединения характеризует его как этерифицированный карбоксиполисахарид.

В ИК-спектре ПВ н/ч *T. terrestris* (рис. 2) наблюдается широкая полоса поглощения ОН-групп в области 3224 см⁻¹. Полосы поглощения при 1732 см⁻¹ соответствуют карбонильной группе COO⁻, а полосы при 1594 и 1414 см⁻¹ – ионизированной карбоксильной группе, связанной с металлами.

Таблице 3. Моносахаридный состав фракции ВРПС н/ч *T. terrestris*

| Фракции | Соотношения | Выход, % | Соотношение моносахаридных остатков, ГХ | | | | | Вязкость фракции 1% р-р H ₂ O | | |
|---------|-------------|----------|---|-----|-----|-----|-----|--|-----------------|-----------------|
| | | | Gal | Glc | Ara | Xyl | Rha | η _{отн} | η _{уд} | η _{пр} |
| I-фр. | 1 : 0.5 | 0.08 | 3.3 | 2.2 | 1.0 | - | - | 1.26 | 0.25 | 0.25 |
| II-фр. | 1 : 1 | 0.52 | 3.4 | 2.6 | 1.0 | - | - | 1.18 | 0.18 | 0.18 |
| III-фр. | 1 : 1.5 | 0.2 | 3.3 | 2.4 | 1.0 | - | - | 1.11 | 0.11 | 0.11 |
| IV-фр. | 1 : 2 | 0.09 | 3.1 | 1.8 | 2.5 | 1.0 | - | 1.07 | 0.074 | 0.074 |
| V-фр. | сп./ост | 0.03 | 3.0 | 2.6 | 2.3 | 1.0 | - | 1.03 | 0.037 | 0.037 |

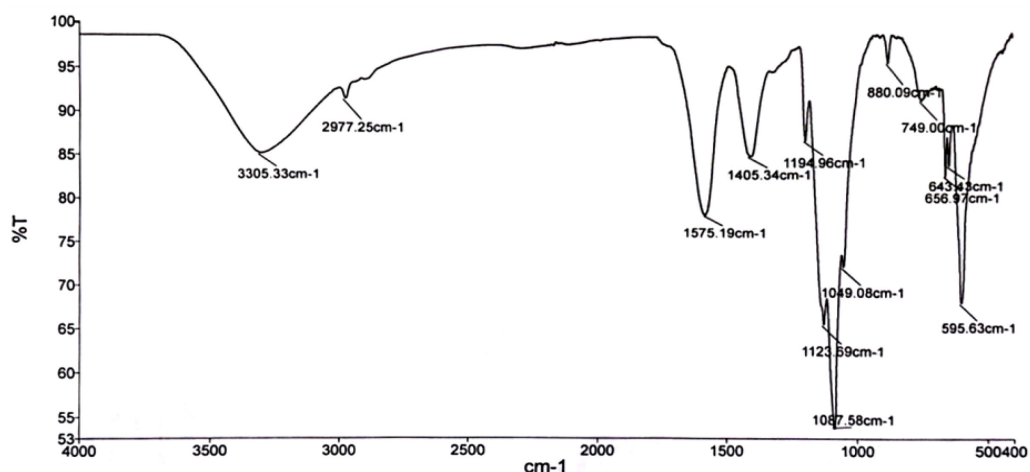
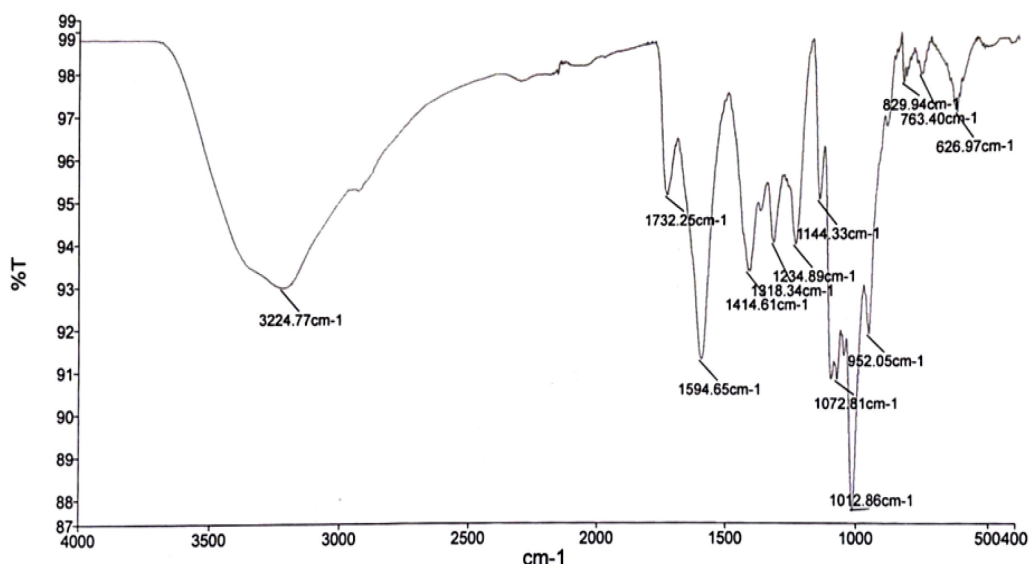


Рис. 1. ИК-спектр ВРПС н/ч *T. terrestris*

Рис. 2. ИК-спектр ПВ н/ч *T. terrestris*

Полосы при 1318 и 1234 cm^{-1} свидетельствуют о наличии этерифицированных групп $-\text{CH}_3$. Фрагменты пиранозных колец ($-\text{C}-\text{C}-\text{O}$, $\text{C}-\text{OH}$ и др.) проявляются полосами поглощения при 1144, 1072 и 1012 cm^{-1} .

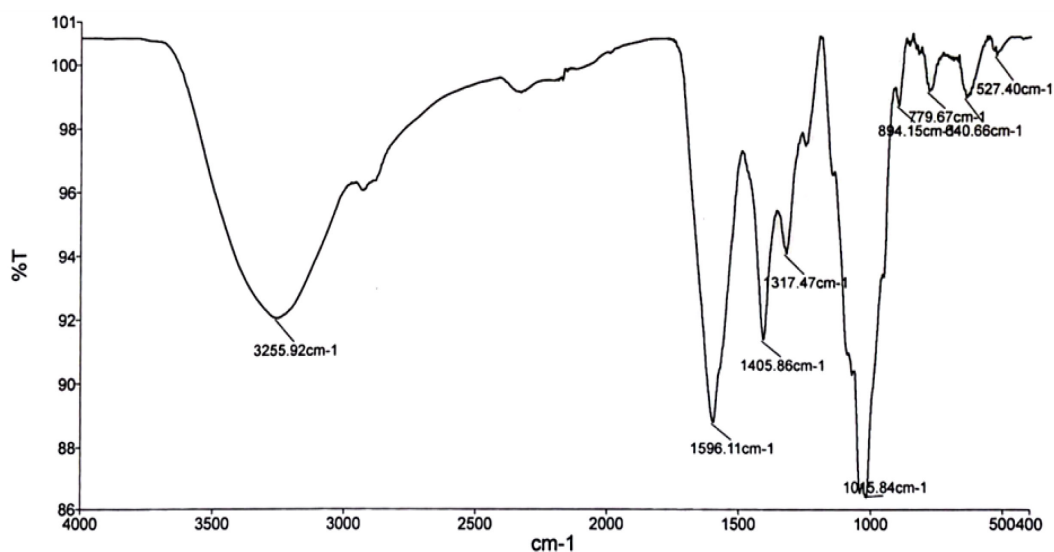
Для ПВ характерна α -гликозидная связь между остатками уроновых кислот, что проявляется интенсивной полосой поглощения при 952 cm^{-1} . Другие полосы поглощения в низкочастотной области (829 и 763 cm^{-1}) свидетельствуют о наличии β -гликозидных связей в боковых ответвлениях макромолекул ПВ.

Анализируя ИК-спектр ГМЦ н/ч *T. terrestris* (рис. 3), отмечаем широкую интенсивную полосу поглощения при 3255 cm^{-1} , в соответствующую ОН группу.

Полоса поглощения в области 1596 и 1405 cm^{-1} показывает ионизированный карбоксил (COO^-). Обычно в гидролизате ГМЦ почти всегда присутствуют уроновые кислоты.

Следующая полоса 1317 cm^{-1} связана с колебаниями гидроксильных групп ОН. Наличие пиранозных моносахаридов, составляющих ГМЦ, отражается полосами поглощения в области 1015 cm^{-1} . Полосы поглощения в низкочастотной области 894, 779 cm^{-1} свидетельствует о наличии α - и β -гликозидных связей в молекуле полисахарида.

Изучение полисахаридов субстанции трибуренала показало, что ВРПС хорошо растворяется в воде, образует прозрачный раствор и не образует осадка. Вязкость 1% раствора полисахарида, полученного из трибуренала, составляет 1.3. Моносахаридный состав ВРПС состоит из Gal, Glc и Aga и идентичен составу ВРПС, полученного из н/ч *T. terrestris*.

Рис. 3. ИК-спектр ГМЦ н/ч *T. terrestris*

Таким образом, установлено, что технологические процессы, такие как экстракция сырья 70% этиловым спиртом при комнатной температуре, сушка шрота при 70 °С, экстракция шрота 40% этиловым спиртом при 60 °С и сушка концентрированного экстракта при температуре сушильного агента на входе 170–180 °С (выход 85–90 °С), не влияют на качество полисахаридов в субстанции трибуренала.

Сравнение наших данных с результатами, опубликованными китайскими исследователями [16, 17], позволяет сформулировать следующие выводы:

Во-первых, в работе [16] описан кислый водорастворимый полисахарид, доминирующим компонентом которого является галактурановая кислота (GalA; 71.4%), что свидетельствует о выраженном пектиновом характере вещества. Наряду с GalA в составе обнаружены Rha, Ara, Gal, Fuc, Man, Xyl и Glc.

Во-вторых, в исследовании [17] также выделены полисахариды с высоким содержанием GalA как в сырой смеси, так и в очищенном полисахариде. При этом состав нейтральных моносахаридов варьирует: Ara, Gal и Glc присутствуют в значимых количествах, а доля Rha заметно выше, чем в образцах, исследованных нами.

В-третьих, в наших данных отмечается отсутствие Man и крайне низкое содержание Rha практически во всех выделенных фракциях. Основными моносахаридами ВРПС и ПВ являются Gal, Glc и Ara. Пектиновые вещества и гемицеллюлозные фракции характеризуются высоким содержанием уоновых кислот (50–60%), что подтверждает их пектиновую природу. Однако состав нейтральных моносахаров заметно отличается от данных работ [16, 17]: Xyl и Ara присутствуют в существенно больших количествах, тогда как Rha практически отсутствует.

Сопоставление данных демонстрирует общую закономерность – преобладание GalA и нейтральных сахаров Gal, Glc и Ara в образцах *T. terrestris*, произрастающих как в Китае, так и в Узбекистане. Различия в содержании Rha, Xyl и Man указывают на влияние морфологической части растения, условий экстракции и методик очистки на моносахаридный состав выделенных полисахаридов.

Интересно отметить, что у *T. Terrestris*, произрастающего в регионе Узбекистана, доминирующим компонентом полисахарида является глюкоарабиногалактуронан. В то же время в литературе для других регионов чаще описывают рамногалактуронановые структуры. Это различие указывает на потенциальную вариабельность полисахарида, обусловленную географическими и физиологическими факторами.

Выводы

1. Обнаружено, что надземная часть *T. terrestris* содержит 7.7% ВРПС, 6.5% ПВ и 13.4% ГМЦ.
2. Установлено, что ВРПС надземной части *T. terrestris* по моносахаридному составу относится к глюкоарабиногалактанам.
3. Показано, что ПВ надземной части *T. terrestris* представляют собой высокоэтерифицированным, основная цепь которого является галактуронаном, где остатки галактурановой кислоты соединены α -1,4-гликозидными связями.
4. Выявлено, что ГМЦ надземной части *T. terrestris* относится к ксиланам.

Финансирование

Данная работа финансировалась за счет средств гранта № ПЗ-2020102917 на тему «Разработка технологии получения субстанции нового лекарственного препарата гипоазотемического действия на основе растения якорцы стелющиеся» (2022–2025) и бюджета Института химии растительных веществ имени академика С.Ю. Юнусова Академии наук Республики Узбекистан.

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 предоставите соответствующие ссылки на автора(ов), источник и Лицензию Creative Commons и укажете, были ли внесены изменения.

Список литературы

1. Neychev V, Mitev V. Pro-sexual and androgen enhancing effects of *Tribulus terrestris* L.: Fact or Fiction // Journal of ethnopharmacology. 2016. Vol. 179. Pp. 345–355. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2015.12.055>.

2. Grigorova S., Kashamov B., Sredkova V., Surdjjiiska S., Zlatev H. Effect of *Tribulus terrestris* extract on semen quality and serum total cholesterol content in white Plymouth rock-mini cocks // *Biotechnology in Animal Husbandry*. 2008. Vol. 24(3-4). Pp. 139–146. <https://doi.org/10.2298/BAH0804139G>.
3. Hammuda H.M., Ghazy N.M., Harraz F.M., Radwan M.M., ElSohly M.A., Abdallah I.I. Chemical constituents from *Tribulus terrestris* and screening of their antioxidant activity // *Phytochemistry*. 2013. Vol. 92. Pp. 153–159.
4. Sharifi A.M., Darabi R., Akbarloo N. Study of antihypertensive mechanism of *Tribulus terrestris* in 2K1C hypertensive rats: role of tissue ACE activity // *Life sciences*. 2003. Vol. 73(23). Pp. 2963–2971. <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2003.04.002>.
5. Chhatre S., Nesari T., Somani G., Kanchan D., Sathaye S. Phytopharmacological overview of *Tribulus terrestris* // *Pharmacognosy reviews*. 2014. Vol. 8(15). Pp. 45–51. <https://doi.org/10.4103/0973-7847.125530>.
6. Murthy A.R., Dubey S.D., Tripathi K. Anti-hypertensive effect of Gokshura (*Tribulus terrestris* Linn.) A clinical study // *Ancient Science of Life*. 2000. Vol. 19(3-4). Pp. 139–145.
7. Amin A., Lotfy M., Shafiullah M., Adeghate E. The Protective Effect of *Tribulus terrestris* in Diabetes // *Annals of the New York Academy of Sciences*. 2006. Vol. 1084. Pp. 391–401. <https://doi.org/10.1196/annals.1372.005>.
8. Яковлев Г.П., Белодубровская Г.А., Блинова К.Ф., Алексеева Г.М. Фармокогнозия. СПб, 2013. 847 с.
9. Heidari M.R., Mehrabani M., Pardakhty A., Khazaeli P., Zahedi M.J., Yakhchali M., Vahedian M. The analgesic effect of *Tribulus terrestris* extract and comparison of gastric ulcerogenicity of the extract with indomethacine in animal experiments // *Annals of the New York Academy of Sciences*. 2007. Vol. 1095. Pp. 418–427. <https://doi.org/10.1196/annals.1397.045>.
10. Ojha S.K., Nandave M., Arora S., Narang N., Dinda A.K., Arya D.S. Chronic Administration of *Tribulus terrestris* Linn. extracts improves cardiac function and Attenuates Myocardial Infarction in Rats // *International Journal of Pharmacology*. 2008. Vol. 4(1). Pp. 1–10. <https://doi.org/10.3923/ijp.2008.1.10>.
11. Miao Z., Zhang Y., Wang D., Li Z. Effect of polysaccharides and water extract from fructus tribuli on growth of lactobacillus brevis // *Advance Journal of Food Science and Technology*. 2014. Vol. 6 (1). Pp. 72–75.
12. Al-Mohamadi A., Eldin I.M.T., Ibrahim D., Albadani R. Ameliorative Effects of *Tribulus Terrestris* (Qutayb) Extracts Against Gentamicin-Induced Nephrotoxicity in Wistar Rats // *International Journal of Nephrology*. 2025. 7620700. <https://doi.org/10.1155/ijne/7620700>.
13. Hajibaev T.A., Ibragimov T.F., Khalilov R.M. Optimal conditions for cleaning and drying furostanol saponins from *Tribulus terrestris* // *Химия растительного сырья*. 2023. №2. С. 327–333. <https://doi.org/10.14258/jcprm.20230211444>.
14. Xu Y., Liu Y., Xu T., Xie S., Si Y., Liu Y., Zhou H., Liu T., Xu D. A new furostanol glycoside from *Tribulus terrestris* // *Molecules*. 2010. Vol. 15(2). Pp. 613–618. <https://doi.org/10.3390/molecules15020613>.
15. Худенко П.Е., Морохина С.Л., Попов Д.М., Терешина Н.С. Флавоноиды в траве якорцев стелющихся // *Фармация и фармакология*. 2015. №2 (9). С. 18–23.
16. Chen H.S., Leung N., Xu Y.X. An acidic polysaccharide from *Tribulus terrestris* // *Chinese Chemical Letters*. 2002. Vol. 13(7). Pp. 625–628.
17. Huang X.L., Zhang Y.S., Liang Z.Y. Studies on water soluble polysaccharides isolated from *Tribulus terrestris* L. purification and preliminary structural determination of heteropolysaccharide H // *Yao Xue Xue Bao*. 1991. Vol. 26(8). Pp. 578–583.
18. Mamatkhanov A.U., Khalilov R.M., Mamatkhanova M.A. Complex processing of *Rhaponticum carthamoides* rhizomes with roots to produce ecdisten substance, total flavonoids, and lipid concentrate // *Pharmaceutical Chemistry Journal*. 2021. Vol. 54. Pp. 1040–1044. <https://doi.org/10.1007/s11094-021-02325-z>.
19. Маматханов А.У., Хажобаев Т.А., Халилов Р.М. Технология получения суммы иридоидов из отходов переработки надземной части *Ajuga turkestanica* // *Химия растительного сырья*. 2023. №3. С. 293–302. <https://doi.org/10.14258/jcprm.20230311829>.
20. Khajibaev T., Egamova F., Mutalova D., Yusupova S., Khalilov R., Jumaniyozov Sh., Abduraxmanova T. Hypoazotemic action of dry extracts from the waste of *Tribulus terrestris* // *Research Journal of Pharmacy and Technology*. 2024. Vol. 17(10). Pp. 1–7. <https://doi.org/10.52711/0974-360X.2024.00742>.
21. Патент № IAP 07514 (РУз). Способ получения гипоазотемического средства / Т.А. Хажобаев, Р.М. Халилов, Ш.Ш. Сагдуллаев, Ф.Р. Эгамова, С.М. Юсупова, Д.К. Муталова, Д.Р. Сиддиков, М.И. Мадрахимова, А.А. Сиддикова, Х.М. Бобакулов, А.Р. Хуррамов. – 2023.
22. Аймухамедова Г.Б., Алиева Д.З., Шелухина Н.П. Свойства и применение пектиновых сорбентов. Фрунзе, 1984. 131 с.
23. Свилей К.К., Тао Р.В.П., Бробст К.М. Методы исследования углеводов. М., 1975. 445 с.
24. Филиппов М.П. Инфракрасные спектры пектиновых веществ. Кишинев, 1978. 76 с.
25. Биохимические методы анализа плодов / под ред. В.В. Арасимовича. Кишинев, 1984. 114 с.
26. Хворов Ю.А., Астафьева Т.Н., Юрченко С.А. Аппаратура и методика определения вязкости индивидуальных жидкостей и растворов // *Вестник Тувинского государственного университета. Технические и физико-математические науки*. 2017. №3. С. 152–157.

Поступила в редакцию 7 марта 2025 г.

После переработки 12 декабря 2025 г.

Принята к публикации 4 марта 2026 г.

Siddikova A.A.¹, Khajibaev T.A.^{1*}, Kodiralieva F.A.¹, Eshonov M.A.², Khalilov R.M.¹ POLYSACCHARIDES OF THE AERIAL PARTS OF *TRIBULUS TERRESTRIS* GROWING IN UZBEKISTAN

¹ Institute of the Chemistry of plant substances named after Acad. S.Yu. Yunusov of the Academy of the Sciences Republic of Uzbekistan, st. Mirzo Ulugbeka, 77, Tashkent, 100170, Uzbekistan, hajibaev84@mail.ru

² National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek, st. Universitetskaya, 4, Tashkent, 100174, Uzbekistan

Polysaccharide components were isolated from the aerial part of *Tribulus terrestris*, including 7.7% water-soluble polysaccharides, 6.5% pectins and 13.4% hemicellulose. Analysis of the monosaccharide composition revealed the absence of mannose in any of the constituent polysaccharides. The major monosaccharides of the water-soluble polysaccharides were galactose, glucose and arabinose, together with traces of xylose and 25–30% uronic acid. For the purified polysaccharide, the monosaccharide composition consisted of arabinose, glucose and galactose in a ratio of 1 : 2.2 : 3.3. The pectins extracted from the aerial part of *Tribulus terrestris* were cream-coloured with a yellowish tinge. These pectins were characterised by a high content of galactose, glucose, arabinose, rhamnose, traces of xylose and 50% uronic acid. It was found that the pectins from the aerial part of *Tribulus terrestris* are highly esterified (the degree of esterification (λ) is 88.0%), with the main chain composed of α -1,4-galacturonan, with the neutral sugars occupying a peripheral position with respect to the main chain. The monosaccharide composition of the two hemicelluloses indicates the presence of galactose, glucose, arabinose, xylose, rhamnose and 55–60% uronic acid.

Keywords: *Tribulus terrestris*, water-soluble polysaccharides, pectins, extraction, hydrolysis, uronic acids.

For citing: Siddikova A.A., Khajibaev T.A., Kodiralieva F.A., Eshonov M.A., Khalilov R.M. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2026, no. 2, pp. 121–131. (in Russ.). <https://doi.org/10.14258/jcprm.20260216967>.

References

- Neychev V., Mitev V. *Journal of ethnopharmacology*, 2016, vol. 179, pp. 345–355. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2015.12.055>.
- Grigorova S., Kashamov B., Sredkova V., Surdjiiska S., Zlatev H. *Biotechnology in Animal Husbandry*, 2008, vol. 24(3-4), pp. 139–146. <https://doi.org/10.2298/BAH0804139G>.
- Hammada H.M., Ghazy N.M., Harraz F.M., Radwan M.M., ElSohly M.A., Abdallah I.I. *Phytochemistry*, 2013, vol. 92, pp. 153–159.
- Sharifi A.M., Darabi R., Akbarloo N. *Life sciences*, 2003, vol. 73(23), pp. 2963–2971. <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2003.04.002>.
- Chhatre S., Nesari T., Somani G., Kanchan D., Sathaye S. *Pharmacognosy reviews*, 2014, vol. 8(15), pp. 45–51. <https://doi.org/10.4103/0973-7847.125530>.
- Murthy A.R., Dubey S.D., Tripathi K. *Ancient Science of Life*, 2000, vol. 19(3-4), pp. 139–145.
- Amin A., Lotfy M., Shafiullah M., Adeghate E. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 2006, vol. 1084, pp. 391–401. <https://doi.org/10.1196/annals.1372.005>.
- Yakovlev G.P., Belodubrovskaya G.A., Blinova K.F., Alekseyeva G.M. *Farmokognoziya*. [Pharmacognosy]. St. Petersburg, 2013, 847 p. (in Russ.).
- Heidari M.R., Mehrabani M., Pardakhty A., Khazaeli P., Zahedi M.J., Yakhchali M., Vahedian M. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 2007, vol. 1095, pp. 418–427. <https://doi.org/10.1196/annals.1397.045>.
- Ojha S.K., Nandave M., Arora S., Narang N., Dinda A.K., Arya D.S. *International Journal of Pharmacology*, 2008, vol. 4(1), pp. 1–10. <https://doi.org/10.3923/ijp.2008.1.10>.
- Miao Z., Zhang Y., Wang D., Li Z. *Advance Journal of Food Science and Technology*, 2014, vol. 6 (1), pp. 72–75.
- Al-Mohamadi A., Eldin I.M.T., Ibrahim D., Albadani R. *International Journal of Nephrology*, 2025, 7620700. <https://doi.org/10.1155/ijne/7620700>.
- Hajibaev T.A., Ibragimov T.F., Khalilov R.M. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2023, no. 2, pp. 327–333. <https://doi.org/10.14258/jcprm.20230211444>.
- Xu Y., Liu Y., Xu T., Xie S., Si Y., Liu Y., Zhou H., Liu T., Xu D. *Molecules*, 2010, vol. 15(2), pp. 613–618. <https://doi.org/10.3390/molecules15020613>.
- Khudenko P.Ye., Morokhina S.L., Popov D.M., Tereshina N.S. *Farmatsiya i farmakologiya*, 2015, no. 2 (9), pp. 18–23. (in Russ.).
- Chen H.S., Leung N., Xu Y.X. *Chinese Chemical Letters*, 2002, vol. 13(7), pp. 625–628.
- Huang X.L., Zhang Y.S., Liang Z.Y. *Yao Xue Xue Bao*, 1991, vol. 26(8), pp. 578–583.
- Mamatkhanov A.U., Khalilov R.M., Mamatkhanova M.A. *Pharmaceutical Chemistry Journal*, 2021, vol. 54, pp. 1040–1044. <https://doi.org/10.1007/s11094-021-02325-z>.
- Mamatkhanov A.U., Khazhibayev T.A., Khalilov R.M. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2023, no. 3, pp. 293–302. <https://doi.org/10.14258/jcprm.20230311829>. (in Russ.).
- Khajibaev T., Egamova F., Mutalova D., Yusupova S., Khalilov R., Jumaniyozov Sh., Abduraxmanova T. *Research Journal of Pharmacy and Technology*, 2024, vol. 17(10), pp. 1–7. <https://doi.org/10.52711/0974-360X.2024.00742>.
- Patent IAP 07514 (UZ). 2023. (in Russ.).
- Aymukhamedova G.B., Aliyeva D.Z., Shelukhina N.P. *Svoystva i primeneniye pektinovykh sorbentov*. [Properties and application of pectin sorbents]. Frunze, 1984, 131 p. (in Russ.).

* Corresponding author.

23. Sviley K.K., Tao R.V.P., Brobst K.M. *Metody issledovaniya uglevodov*. [Methods for studying carbohydrates]. Moscow, 1975, 445 p. (in Russ.).
24. Filippov M.P. *Infrakrasnyye spektry pektinovykh veshchestv*. [Infrared spectra of pectin substances]. Kishinov, 1978, 76 p. (in Russ.).
25. *Biokhimiicheskiye metody analiza plodov* [Biochemical methods of fruit analysis], ed. V.V. Arasimovich. Kishinov, 1984, 114 p. (in Russ.).
26. Khvorov Yu.A., Astaf'yeva T.N., Yurchenko S.A. *Vestnik Tuvinskogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskiye i fiziko-matematicheskiye nauki*, 2017, no. 3, pp. 152–157. (in Russ.).

Received March 7, 2025

Revised December 12, 2025

Accepted March 4, 2026

Сведения об авторах

Сиддикова Азизахон Абдугаффоровна – младший научный сотрудник лаборатории химии высокомолекулярных растительных веществ, siddikova1987@mail.ru

Хажобаев Темурбек Атаханович – PhD, старший научный сотрудник экспериментально-технологической лаборатории, hajibaev84@mail.ru

Кодиралиева Фотимахон Акбаровна – PhD, старший научный сотрудник лаборатории химии высокомолекулярных растительных веществ, fatimahon.82@mail.ru

Эшоннов Мубашшир Абдурашидович – доцент, mubashshireshonov1983@gmail.com

Халилов Равшанжон Муратджанович – доктор технических наук, профессор, заведующий экспериментально-технологической лабораторией, r.m.khalilov@mail.ru

Information about authors

Siddikova Azizakhon Abdugafforovna – Junior Researcher, Laboratory of Chemistry of High-Molecular Plant Substances, siddikova1987@mail.ru

Khajibaev Temurbek Atakhanovich – PhD, Senior Researcher, Experimental and Technological Laboratory, hajibaev84@mail.ru

Kodiralieva Fotimahon Akbarovna – PhD, Senior Researcher, Laboratory of Chemistry of High-Molecular Plant Substances, fatimahon.82@mail.ru

Eshonov Mubashshir Abdurashidovich – Associate Professor, mubashshireshonov1983@gmail.com

Khalilov Ravshanjon Muratdjanovich – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Experimental and Technological Laboratory, r.m.khalilov@mail.ru