

УДК 54.056: 577.114.083

ОСОБЕННОСТИ ПОЛИСАХАРИДОВ *ARTEMISIA ANNUA L.* И *SALVIA OFFICINALIS L.*, ПРОИЗРАСТАЮЩИХ В УЗБЕКИСТАНЕ*

© Н.С. Нормахаматов^{1***}, Ф.А. Кодиралиева², А.А. Сиддикова²

¹ Ташкентский фармацевтический институт, ул. Айбека, 45, Ташкент,
100015, Узбекистан, nodirali@gmail.com

² Институт химии растительных веществ им. акад. С.Ю. Юнусова
АН РУз, ул. Мирзо Улугбека, 77, Ташкент, 100170, Узбекистан

В статье исследуются полисахариды, выделенные из двух лекарственных растений – полыни однолетней (*Artemisia annua* L.) и шалфея лекарственного (*Salvia officinalis* L.), произрастающих в Узбекистане. Оба растения известны своими целебными свойствами, такими как антиоксидантная, противовоспалительная и противоопухолевая активность, что делает их перспективными источниками биологически активных соединений. В работе впервые были выделены и охарактеризованы основные полисахариды растений, включая водорастворимые полисахариды, пектиновые вещества и гемицеллюзы, а также установлен их моносахаридный состав.

В ходе работы было проведено выделение и очистка полисахаридов, после чего изучены их структурные и химические особенности с помощью таких методов, как ИК-спектроскопия, титрометрия и газожидкостная хроматография. Результаты показали, что полученные комплексы представлены водорастворимыми полисахаридами (4.1–6.2%), пектиновыми веществами (4.0–8.6%), гемицеллюзами (1.0–5.2%) и основными компонентами выделенных полисахаридов являются арабиноза, ксилоза и рамноза, что свидетельствует об их сложной структуре и потенциальной биологической активности.

Исследование позволило выявить нейтрально-кислый характер полисахаридов и наличие функциональных групп, таких как карбоксильные и этерифицированные карбоксильные группы, что предполагает их высокую комплексообразующую способность. Подобные соединения могут использоваться как природные антиоксиданты и иммуномодуляторы, а также для создания фармацевтических и пищевых добавок.

Ключевые слова: *Artemisia annua* L., *Salvia officinalis* L., водорастворимые полисахариды, пектины, гемицеллюзы, ИК-спектроскопия.

Для цитирования: Нормахаматов Н.С., Кодиралиева Ф.А., Сиддикова А.А. Особенности полисахаридов *Artemisia annua* L. и *Salvia officinalis* L., произрастающих в Узбекистане // Химия растительного сырья. 2025. №2. С. 74–83. <https://doi.org/10.14258/jcprm.20250214984>.

Введение

Лекарственные растения *Artemisia annua* L. и *Salvia officinalis* L. имеют важное значение в различных аспектах здоровья и благополучия человека [1–4]. *Artemisia annua* L. известна своими противомалярийными свойствами и изучалась на предмет ее многочисленных биологических свойств, таких как противоопухолевые, противомикробные и иммуномодулирующие свойства. Кроме того, *Artemisia annua* L. богата вторичными метаболитами, такими как монотерпены, сесквитерпены и фенольные соединения, биологические свойства которых тщательно изучались. Аналогичным образом, *Salvia officinalis* L. на протяжении веков широко использовалась в традиционной медицине благодаря своим лечебным свойствам. Известно, что данное растение обладает противовоспалительным, противомикробным, антиоксидантным и нейропротекторным действием, способно обеспечить альтернативные или дополнительные методы лечения широкого спектра заболеваний [5]. Кроме того, использование *Artemisia annua* L. и *Salvia officinalis* L. различными культурами и сообществами по всему миру еще больше подчеркивает их важность и широкое признание их лечебных свойств. В целом, лекарственные растения *Artemisia annua* L. и *Salvia officinalis* L. имеют большое значение из-за их разнообразного биологического действия и потенциального терапевтического применения [6].

* Данная статья имеет электронный дополнительный материал (приложение), который доступен читателям на сайте журнала. DOI: 10.14258/jcprm.20250214984s

** Автор, с которым следует вести переписку.

Исследование растительных полисахаридов на предмет их структурных характеристик имеет важное значение и может дать ценную информацию об их функциях и потенциальном применении. Известно, что химические свойства и структурные характеристики полисахаридов тесно связаны с их физиологической активностью. Более того, структурные особенности растительных полисахаридов необходимы для их эффективного использования в качестве природного материала. Изучение структурных особенностей растительных полисахаридов также может способствовать пониманию биологии растений и функции клеточных стенок. Исследуя состав и расположение полисахаридов в стенках растительных клеток, можно получить представление о том, как эти структуры способствуют росту, развитию и сохранению данных растений.

Условия окружающей среды, такие как широта, высота над уровнем моря, климатические факторы (годовой уровень осадков и колебания температуры) являются ключевыми факторами, влияющими на изменчивость полисахаридов *Artemisia annua* и *Salvia officinalis* [7–9]. Авторами в работе [10] установлено, что специфические экологические условия в различных регионах, таких как Западная Анатolia, Сирия и Аманус, приводят к различному количеству хромосом у *Salvia officinalis*, что свидетельствует о влиянии географического положения на изменчивость полисахаридов. Органические удобрения, такие как торф и Тесамин Max, содержащиеся в красных прелувоподолах Южной Румынии в условиях органического земледелия, положительно влияют на изменчивость полисахаридов *Salvia officinalis*, подчеркивая роль состава почвы и методов ведения сельского хозяйства [8]. Присутствие сахаров в питательной среде также может влиять на выработку таких соединений, как артемизинин, при этом глюкоза считается стимулятором выработки артемизинина в культурах *Artemisia annua* [9, 10].

Известное своими лечебными свойствами, в частности противомалярийным действием, благодаря наличию в составе соединения артемизинина, растение *Artemisia annua* L. в последние годы привлекает интерес к изучению их полисахаридов. До сих пор полисахариды *Artemisia annua* L. представляли большой интерес для ряда исследователей из-за их важной биологической активности. В работе [11] авторами установлена антиоксидантная активность полисахаридов, выделенных из *Artemisia annua* L., что указывает на их потенциальное использование в качестве природных антиоксидантов в функциональных продуктах питания и фармацевтических препаратах. Авторами в работе [12] в результате исследования иммуномодулирующего действия полисахаридов *Artemisia annua* L. установлена их способность усиливать иммунные реакции и регулировать иммунную функцию, что указывает на их потенциал в качестве иммуномодулирующих агентов.

Исследования противовоспалительных свойств полисахаридов растений в работе [13] показали, что они проявляют значительные противовоспалительные эффекты, ингибируя выработку противовоспалительных цитокинов, что позволяет предположить их потенциальное использование при лечении воспалительных состояний. В работе [14] изучена противоопухолевая активность полисахаридов *Artemisia annua* L. и установлено, что полисахариды оказывают цитотокическое действие на раковые клетки и индуцируют апоптоз, что подчеркивает их потенциал в качестве противоопухолевых агентов. В работе [15] авторами исследованы гепатопротекторные свойства полисахаридов и установлено, что полисахариды могут защитить от повреждения печени, уменьшая окислительный стресс и воспаление, что предполагает их потенциальное использование в качестве гепатопротекторных препаратов.

Научные работы по изучению полисахаридов *Salvia officinalis* L. свидетельствуют о возрастающем интересе к их терапевтическому потенциалу. *Salvia officinalis* L. представляет собой лекарственное растение с различными фармакологическими свойствами, включая антиоксидантную, противовоспалительную, противомикробную и противоопухолевую активность [6, 16, 17]. Известны исследования по выделению и характеристике полисахаридов, присутствующих в составе *Salvia officinalis* L. Установлено, что эти полисахариды имеют разнообразную химическую структуру и биологическую активность. Так, авторами [6] установлено, что полисахариды *Salvia officinalis* L. проявляют иммуномодулирующее действие за счет повышения активности иммунных клеток, таких как макрофаги и лимфоциты. Авторами [18] установлено, что полисахариды *Salvia officinalis* L. проявляли антиоксидантные свойства, которые могут помочь защитить клетки от окислительного повреждения и снизить риск хронических заболеваний. Некоторые исследования также показали, что полисахариды *Salvia officinalis* L. могут оказывать потенциальное противораковое действие, подавляя рост раковых клеток или индуцируя апоптоз [19].

Несмотря на то, что состав полисахаридов *Artemisia annua* L. и *Salvia officinalis* L. мало изучен, существует несколько исследований, в которых биологически активные фракции полисахаридов характеризовались содержанием моносахаридов, молекулярной массой и гликозидными связями.

В работах [20–23] исследуется биологическая активность полисахаридов, полученных из *Artemisia annua* L. и *Salvia officinalis* L., с акцентом на их молекулярные характеристики, такие как состав моносахаридов и типы гликозидных связей. Полисахариды видов шалфея, включая *Salvia officinalis* L., в основном состоят из моносахаридов, таких как галактуроновая кислота, арабиноза и ксилоза, образующих углеводные цепи. Структурные единицы, идентифицированные в этих полисахаридах, включают гомогалактуронан, рамногалактуронан-I и арабинан с чередующимися участками остатков арабинофуранозы. Эти полисахариды обладают антиоксидантными свойствами, а их способность поглощать радикалы DPPH (1,1-дифенил-2-пикрилгидразил) коррелирует с присутствием фенольных соединений. Структурная сложность и биологическая активность полисахаридов видов шалфея, в частности *Salvia officinalis* L., делают их перспективными природными соединениями для различных применений.

Полисахариды *Artemisia annua* L. имеют общие структурные особенности. Они содержат полисахариды на основе пиранозы с β -связями и β -фруктофуранозиды, известные своей иммуномодулирующей, антиоксидантной и противоопухолевой активностью. К данным структурным единицам относятся:

- полисахариды, содержащие пиранозу, с β -связями и β -фруктофуранозиды, известные своими антиоксидантными свойствами [20];
- моносахаридный состав (глюкоза, ксилоза, ликсоза, манноза, арабиноза и галактоза) в определенных молярных соотношениях, который играет роль в антиоксидантной активности полисахаридов [21].
- наличие кислотных цепей, таких как β -(1,4)-ксилан, с остатками уроновой кислоты, распределенными в цепях ксилолигосахаридов, способствующих антиоксидантной активности полисахаридов [21].

Данные структурные особенности в совокупности усиливают антиоксидантную и противоопухолевую активности полисахаридов *Artemisia annua* L., что делает их перспективными природными соединениями для различных применений.

В целом, проведенные исследования по изучению полисахаридов *Artemisia annua* L. и *Salvia officinalis* L. подчеркивают их разнообразную биологическую активность, включая антиоксидантное, иммуномодулирующее, противовоспалительное, противоопухолевое и гепатопротекторное действие, и призывают к дальнейшим исследованиям для полного понимания механизмов их действия и потенциального применения в медицине. Так как полисахариды надземных частей *Artemisia annua* L. (семейство Астровые (*Asteraceae*)) и *Salvia officinalis* L. (семейства Яснотковые (*Lamiaceae*)), произрастающих в Узбекистане, недостаточно изучены, актуальным является оценка их потенциала в производстве биологически активных полисахаридов.

Цель настоящего исследования – выделение полисахаридов из *Artemisia annua* L. и *Salvia officinalis* L. произрастающих в Узбекистане, и изучение особенностей их структуры.

Экспериментальная часть

Объектом исследования являются надземные части *Artemisia annua* L. и *Salvia officinalis* L., собранные в мае 2023 гг., в фазу их цветения, с влажностью $8.1 \pm 0.1\%$, в Ташкентской (41.130242, 69.446987) и Самаркандской (40.027018, 66.476191) областях Республики Узбекистан.

Инактивация сырья. 100 г измельченного сырья *Artemisia annua* L. и *Salvia officinalis* L. обрабатывали дважды кипящей смесью метанол – хлороформ (1 : 1) для удаления красящих веществ и неуглеводных компонентов. Затем сырье отделяли фильтрованием и высушивали.

Выделение водорастворимых полисахаридов (ВРПС). Остаток сырья экстрагировали горячей водой при 70°C , гидромодуле 1 : 5 и 1 : 3. Экстракти отделяли фильтрованием, объединяли, упаривали до небольшого объема и осаждали двукратным объемом спирта. Выпавший осадок отделяли центрифugированием, осадок промывали и высушивали спиртом. Выходы составили 4.1 и 6.2% от веса сухого сырья.

Выделение пектиновых веществ (ПВ). После выделения суммы ВРПС шрот дважды экстрагировали равной смесью 0.5%-ных растворов щавелевой кислоты и оксалата аммония при 75°C , экстракцию проводили при гидромодуле 1 : 4, 1 : 3. Экстракт отделяли фильтрованием, дialisировали против проточной воды, упаривали и осаждали трехкратным объемом спирта. Осадок обрабатывали аналогичным образом, как описано выше. Выходы ПВ составили 4.0 и 8.2% от веса сухого сырья.

Выделение гемицеллюлоз (ГМЦ). После выделения ПВ шрот дважды обрабатывали 5% раствором KOH при комнатной температуре, в течение 1.5–2.0 ч, при гидромодуле 1 : 3. Экстракты отделяли фильтрованием, нейтрализовали, диализовали против проточной воды, упаривали и осаждали трехкратным объемом спирта. Осадок обрабатывали аналогичным образом, как описано выше. Выходы ГМЦ составили 5.2 и 1.0% от веса сухого сырья.

Полный кислотный гидролиз ВРПС, ПВ и ГМЦ. По 100 мг выделенных полисахаридов гидролизовали 3 мл 1 н раствором H₂SO₄ при 100 °C в течение 8 ч (ВРПС), в течение 24 ч (ПВ и ГМЦ). По истечении времени гидролизат помещали в стакан и нейтрализовали карбонатом бария. Образовавшийся осадок фильтровали, фильтрат деионизировали катионитом КУ-2, упаривали до небольшого объема (0.5 мл) и хроматографировали на бумаге Filtrak-FN 18 в системе бутанол-1 – пиридин – вода (6 : 4 : 3) с известными моносахаридами (свидетелями). Хроматограммы высушивали, проявляли кислым анилинфталатом с последующим нагреванием в сушильном шкафу при 110 °C в течение 1–2 мин.

Бумажную хроматографию (БХ) осуществляли на бумаге Filtrak-FN 13, 18 (Германия) в системе растворителей: *n*-бутанол – пиридин – вода (6 : 4 : 3) (1); проявитель: а) кислый фталат анилина (5 мин, 100 °C), б) 5%-ный раствор мочевины.

Количественное определение моносахаридов проводили методом газожидкостной хроматографии (ГХ). Анализ гидролизатов осуществляли на газовом хроматографе GC Plus2010 в следующих условиях: температура инжектора 250 °C, общий поток 60 мл/мин, поток через колонку 0.89 мл/мин, газ-носитель – азот, колонка – Rxi-624SI MS, длина капиллярной колонки 3 м, внутренний диаметр ID 0.25мм, температура колонки 230 °C, температура детектора 250 °C. Образцы снимали в виде ацетатов альдононитрилов.

Титrimетрические показатели ПВ. Общую кислотность, а также количественное определение функциональных групп (свободных карбоксильных (K_c), этерифицированных карбоксильных (K_e), общее количество карбоксильных групп (K_o)) определяли методом титрования в присутствии фенолфталеина [24, 25].

ИК-спектры полисахаридов регистрировали на ИК-Фурье спектрометре фирмы «Perkin-Elmer» в диапазоне частот 530–3600 см⁻¹ [26, 27].

Обсуждение результатов

Высушенное растительное сырье *Artemisia annua* L. и *Salvia officinalis* L. дважды экстрагировали кипящим 82% этиловым спиртом (1 : 6) в течение 1 ч. Спиртовые экстракты объединяли, упаривали и анализировали БХ в системе 1, идентифицировали глюкозу, сахарозу и следы фруктозы.

Далее водной экстракцией двух видов сырья выделены углеводные комплексы – водорастворимые полисахариды, смесь щавелевой кислоты и оксалата аммония – пектиновые вещества и раствором NaOH (5%) – гемицеллюлозы по известной методике [28]. Выделенные полисахариды представляли собой аморфные порошки кремового и светло-коричневого цвета с желтоватым оттенком, ВРПС и ПВ хорошо растворимы в воде. Содержание углеводов во всех фракциях представлено в таблице 1.

Как видно из данных таблицы 1, основными моносахаридами являются ксилоза и арабиноза. Характеристика моносахаридного состава биополимеров показала, что они являются кислыми полисахаридами.

Функциональные группы, характерные для ВРПС, ПВ и ГМЦ, были определены методом титрометрии (табл. 2).

Таблица 1. Выход полисахаридов и их моносахаридный состав

Вид	Тип ПС	Выход, %	Соотношение моносахаридных остатков					UA, БХ
			Rha	Ara	Xyl	Glc	Gal	
<i>Artemisia annua</i> L.	ВРПС	4.1±0.20	1.0	1.5	–	1.2	1.0	+
	ПВ	4.0±0.10	–	–	3.0	1.0	1.0	+
	ГМЦ	5.2±0.20	1.0	3.0	4.0	–	1.0	++
<i>Salvia officinalis</i> L.	ВРПС	6.2±0.20	–	2.0	–	2.5	1.0	+
	ПВ	8.6±0.20	2.0	3.0	1.0	1.0	1.0	+
	ГМЦ	1.0±0.03	1.0	2.0	2.0	1.5	1.5	++

Таблица 2. Титрометрические показатели ВРПС, ПВ и ГМЦ надземных частей *Artemisia annua* L. и *Salvia officinalis* L.

Полисахаридная фракция	K_c , %	K_o , %	K_o , %	λ , %
<i>Artemisia annua</i> L.				
ВРПС	1.80±0.08	5.94±0.21	7.74±0.30	76.7±3.7
ПВ	3.60±0.17	6.66±0.29	10.26±0.50	64.9±3.2
ГМЦ	3.24±0.15	0.72±0.03	3.96±0.18	18.1±0.9
<i>Salvia officinalis</i> L.				
ВРПС	1.80±0.09	2.88±0.12	4.68±0.21	61.5±2.9
ПВ	2.52±0.08	3.42±0.16	5.94±0.27	57.5±2.7
ГМЦ	3.45±0.11	1.98±0.09	5.40±0.24	36.6±1.8

Примечание. K_c – свободные карбоксильные группы, K_o – этиерифицированные карбоксильные группы, K_o – общие карбоксильные группы, λ – степень этиерификации.

Из данных таблицы 2 видно, что содержание свободных карбоксильных групп ВРПС, ПВ, ГМЦ надземной части *Artemisia annua* L. составляют соответственно 1.80, 3.60, 3.24%, метоксилированных карбоксильных групп – 5.94, 6.66, 0.72%, общие карбоксильные группы – 7.74, 10.26, 3.96%. У ВРПС, ПВ, ГМЦ надземной части *Salvia officinalis* L. содержание свободных карбоксильных групп составляют 1.8, 2.52, 3.45%, метоксилированных карбоксильных групп – 2.88, 3.42, 1.98%, общих карбоксильных групп – 4.68, 5.94, 5.40% соответственно. Свободные карбоксильные группы ПВ двух видов растений составляют 2.52–3.60%, что может говорить об их комплексообразующей способности и перспективности применения в качестве детоксикантов. Степень этиерификации исследуемых ПВ была средняя ($\lambda > 50\%$)

Проведены ИК-спектроскопические исследования ВРПС, ПВ и ГМЦ надземных частей *Artemisia annua* L. и *Salvia officinalis* L. Данные ИК-спектров представлены в обобщенной таблице 3.

Как видно из данных таблицы 3, во всех ИК-спектрах присутствуют полосы поглощения, характерные для кислых полисахаридов, в области 1733, 1732, 1739 cm^{-1} , соответствующие колебаниям карбоксила карбонильной группы. Наличие белковых примесей обусловливается присутствием полос поглощения в области 1575, 1598, 1601 cm^{-1} [29].

ИК-спектры ВРПС *Artemisia annua* L. и *Salvia officinalis* L. В ИК-спектрах ВРПС *Artemisia annua* L. и *Salvia officinalis* L. в области 3255 и 3254 cm^{-1} присутствует широкая интенсивная полоса поглощения, которая соответствует свободным гидроксилам и их участию в образовании системы Н-связей. Интенсивная узкая полоса в области 2924 и 2919 cm^{-1} соответствует валентным колебаниям (симметричные) групп CH (табл. 3).

Для полисахаридов, моносахаридный состав которых включает уроновые кислоты, характерно наличие в ИК-спектрах полос поглощения в области 1733, 1739, 1239 и 1242 cm^{-1} , что соответствует C=O связи в карбоксилионе (COO⁻) и колебаниям сложноэфирных групп (1237 cm^{-1})

Полосы поглощения в области 1582, 1575, 1403 и 1411 cm^{-1} могут соответствовать колебаниям ионизированного карбоксила. В зависимости от природы металла, т.е. иона металла, заменившего водород в карбоксильной группе, их положение в спектре меняется. Остальные полосы поглощения в областях 1239, 1242, 1075, 1016 и 1015 cm^{-1} характеризуют ряд функциональных групп -CH, C-O-C, OH, C-C, C-O соответственно.

Ряд малоинтенсивных полос в спектре ВРПС *Salvia officinalis* L. в слабом поле, начиная с 832 и 759 cm^{-1} , характеризуют α - и β -гликозидные связи (табл. 3).

Остальные полосы поглощения находятся в низкочастотной области спектров и соответствуют колебаниям пиранозных циклов и их фрагментов.

ИК-спектры ПВ *Artemisia annua* L. и *Salvia officinalis* L. В ИК-спектрах ПВ имеются характерные широкие полосы поглощения -OH групп в области 3242–3226 cm^{-1} и симметричных и несимметричных -CH групп в области 2988–2931 cm^{-1} .

Полосы поглощения в области 1732 и 1733 cm^{-1} , соответствующие карбонилу карбоксильной группы (C=O), в области 1601 и 1415 cm^{-1} , соответствующие ионизированной карбоксильной группе, связанной с металлами, являются характерными для карбоксиполисахаридов.

Наличие этиерифицированных групп -CH₃ показывает полоса поглощения при 1322 cm^{-1} . Колебание сложноэфирных групп проявляется в области 1230 и 1232 cm^{-1} .

Таблица 3. Данные ИК-спектров ВРПС, ПВ и ГМЦ надземной части *Artemisia annua* L. и *Salvia officinalis* L. (волновое число, см^{-1})*

ВРПС	ПВ	ГМЦ	Преимущественные типы колебаний, источник [29]	
<i>Artemisia annua</i> L.				
3255	3242	3230	OH	
—	—	—	OH	
2924	2988	2936	CH	[30]
2353	—	2324	OH	
1733	1732	—	C=O	
—	—	—	COO ⁻	[31]
—	1601	—	COO ⁻	
—	—	—	CH ₂ -NH-CH ₂ ,	
1582	—	1574	N-NH-CO	
1403	1409	1409	COO ⁻	
—	—	—	COOH	[32]
—	1318	1337	C-O-H, C-O-C	
1239	1230	1242	C-C, C-O	
—	1142	—	C-C, C-O	
—	1074	—	C-C, C-O-C	
1015	1048	1039	OH	
—	1013	—		[33]
—	953	—	α - и β -гликозидные связи	[34]
—	831	896		[30]
—	758	780		
<i>Salvia officinalis</i> L.				
3254	3226	3230	OH	
—	—	—	CH	
2919	2931	2936	OH	[30]
2353	2353	2324	C=O	
1739	1733	—	COO ⁻	
—	—	—	COO ⁻	[31]
—	—	—	CH ₂ -NH-CH ₂ ,	
—	—	—	N-NH-CO	
1575	1598	1574	COO ⁻	
1411	1415	1409	COOH	
—	—	—	C-O-H, C-O-C	[32]
—	1322	1337	C-C, C-O	
1242	1232	1242	C-C, C-O	
—	1141	—	C-C, C-O-C	
1075	1073	—	OH	
1047	1047	1039		
1016	1014	—	α - и β -гликозидные связи	[33]
—	953	—		[34]
832	831	—		[30]
759	758	758		

* ИК-спектры ВРПС, ПВ и ГМЦ надземной части *Artemisia annua* L. и *Salvia officinalis* L. представлены в электронном приложении к статье.

Для ПВ характерна α -гликозидная связь между остатками уроновых кислот, что хорошо проявляется интенсивной полосой поглощения при 953, 831 см^{-1} .

Другие полосы поглощения, которые присутствуют в ИК-спектре, в его низкочастотной области 758, 628 см^{-1} свидетельствует о наличии β -гликозидной связи боковых ответвлений в макромолекулах ПВ (табл. 3).

Таким образом, анализ ИК-спектров выделенных пектиновых веществ дает информацию о типе полисахарида (кислый или нейтральный), о наличии гликозидных связей, сложноэфирных групп. Все это дополняет данные химического анализа полисахаридов.

ИК-спектр гемицеллюлоз *Artemisia annua* L. и *Salvia officinalis* L. В ИК-спектрах ГМЦ отмечается широкая интенсивная полоса поглощения при 3422, 3230, 3284 см^{-1} , а также малоинтенсивная полоса поглощения в области 2936, 2934, соответствующая деформационным симметричным и несимметричным колебаниям CH групп. В области 1710, 1639 см^{-1} проявляется поглощение кристаллической воды. Полоса

поглощения в области 1409 см^{-1} показывает ионизированный карбоксил (COO^-). Обычно в гидролизате ГМЦ почти всегда присутствуют уроновые кислоты (табл. 3).

Следующая полоса в области 1337 , 1338 см^{-1} связана с колебаниями гидроксильных групп OH (табл. 3). Наличие моносахаридов, находящихся в пиранозной форме, отражается полосами поглощения в области 1044 см^{-1} . Полосы поглощения в низкочастотной области 780 , 796 , 648 , 620 см^{-1} свидетельствуют о наличии α - и β -гликозидных связей в молекуле полисахарида.

Заключение

Впервые из местных лекарственных растений *Artemisia annua* L. и *Salvia officinalis* L. выделены различные полисахариды, установлены их качественный и количественный моносахаридный состав. Даны количественная и качественная характеристики водорастворимых полисахаридов, пектиновых веществ и гемицеллюлоз. Изучены ИК-спектры выделенных полисахаридов. В результате полученные комплексы представлены водорастворимыми полисахаридами (4.1–6.2%), пектиновыми веществами (4.0–8.6%), гемицеллюлозами (1.0–5.2), их моносахаридный состав характеризуется повышенным содержанием *Ara*, *Xyl*, *Rha* и *UAc*.

Дополнительная информация

В электронном приложении к статье (DOI: <http://www.doi.org/10.14258/jcprm.20250214984s>) приведен дополнительный экспериментальный материал, раскрывающий основные положения, изложенные в статье.

Финансирование

Данная работа финансировалась за счет государственного прикладного проекта Республики Узбекистан № AL-4721035120 “Common research and development of different prototypes containing natural herb extract for industrial utilization”.

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. Septembre-Malaterre A., Lalarizo Rakoto M., Marodon C., Bedoui Y., Nakab J., Simon E., Hoarau L., Savriama S., Strasberg D., Guiraud P., Selambarom J., Gasque P. *Artemisia annua*, a traditional plant brought to light // International journal of molecular sciences. 2020. Vol. 21, no. 14. 4986. <https://doi.org/10.3390/ijms21144986>.
2. Acquaviva A., Bouyahya A., Zengin G., Simone S.C.D., Recinella L., Leone S., Brunetti L., Uba A., Cakilcioglu U., Polat R., Darendelioglu E., Menghini L., Ferrante C., Orlando G., Libero M., Chiavaroli A. Chemical characterization of different extracts from *Artemisia annua* and their antioxidant, enzyme inhibitory and anti-inflammatory properties // Chemistry & Biodiversity. 2023. Vol. 20, no. 8. e202300547. <https://doi.org/10.1002/cbdv.202300547>.
3. Zhou W., Lei B., Yang C., Silva M., Xing X., Yu H., Lu J.-H., Zhang W. *Artemisia annua* extract improves the cognitive deficits and reverses the pathological changes of Alzheimer’s disease via regulating YAP signaling // International Journal of Molecular Sciences. 2023. Vol. 24, no. 6. 5259. <https://doi.org/10.3390/ijms24065259>.
4. Al-Badri N.M.B.A., Al-Zobaidy M.J. *Artemisia annua* Has Anti-Psoriatic Effects Comparable to Those of Clobetasol in Imiquimod-Induced Animal Model of Psoriasis // The Egyptian Journal of Hospital Medicine. 2022. Vol. 89, no. 1. Pp. 5830–5839. <https://doi.org/10.21608/ejhm.2022.266656>.
5. Hasheminia S.M., Sendi J.J., Jahromi K.T., Moharramipour S. The effects of *Artemisia annua* L. and *Achillea millefolium* L. crude leaf extracts on the toxicity, development, feeding efficiency and chemical activities of small cabbage *Pieris rapae* L.(Lepidoptera: Pieridae) // Pesticide Biochemistry and Physiology. 2011. Vol. 99, no. 3. Pp. 244–249. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2010.12.009>.
6. Ghorbani A., Esmailizadeh M. Pharmacological properties of *Salvia officinalis* and its components // Journal of traditional and complementary medicine. 2017. Vol. 7, no. 4. Pp. 433–440. <https://doi.org/10.1016/j.jtcme.2016.12.014>.
7. Verma M.K., Sharma S., Kumar S. A review on pharmacological properties of *Artemisia annua* // Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry. 2020. Vol. 9, no. 6. Pp. 2179–2183.
8. Segheean A.E., Marin C.N., Ghirlea I.O.F., Feier C.V.I., Muntean C., Grozescu I. *Artemisia annua* growing wild in Romania – A metabolite profile approach to target a drug delivery system based on magnetite nanoparticles // Plants. 2021. Vol. 10, no. 11. 2245. <https://doi.org/10.3390/plants10112245>.
9. Wang H., Li H., Zeng F.L., Xie C.X. Spatial distribution and global potential suitability regions of *Artemisia annua* // Journal of Chinese Medicinal Materials. 2015. Vol. 38, no. 3. Pp. 460–466.

10. Afzal-Rafii Z. Etude cytotaxonomique et phylogénétique de quelques *Salvia* de la région méditerranéenne: Groupe du *Salvia officinalis* L. // Bulletin de la Société Botanique de France. 1976. Vol. 123, no. 9. Pp. 515–527. <https://doi.org/10.1080/00378941.1976.10835708>.
11. Wan X.L., Niu Y., Zheng X.C., Huang Q., Su W.P., Zhang J.F., Zhang L.L., Wang T. Antioxidant capacities of *Artemisia annua* L. leaves and enzymatically treated *Artemisia annua* L. in vitro and in broilers // Animal Feed Science and Technology. 2016. Vol. 221. Pp. 27–34. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.08.017>.
12. Kshirsagar S.G., Rao R.V. Antiviral and immunomodulation effects of Artemisia // Medicina. 2021. Vol. 57, no. 3. 217. <https://doi.org/10.3390/medicina57030217>.
13. Jin M.Y., Li M.Y., Huang R.M., Wu X.Y., Sun Y.M., Xu Z.L. Structural features and anti-inflammatory properties of pectic polysaccharides: A review // Trends in Food Science & Technology. 2021. Vol. 107. Pp. 284–298. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.10.042>.
14. Yan L., Xiong C., Xu P., Zhu J., Yang Z., Ren H., Luo Q. Structural characterization and in vitro antitumor activity of A polysaccharide from *Artemisia annua* L.(Huang Huahao) // Carbohydrate Polymers. 2019. Vol. 213. Pp. 361–369. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.02.081>.
15. Park C.Y., Choi E., Yang H.J., Ho S.H., Park S.J., Park K.M., Kim S.H. Efficacy of *Artemisia annua* L. extract for recovery of acute liver failure // Food Science & Nutrition. 2020. Vol. 8, no. 7. Pp. 3738–3749. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1662>.
16. Brindisi M., Bouzidi C., Frattarulo L., Loizzo M.R., Cappello M.S., Dugay A., Deguin B., Lauria G., Cappello A.R., Tundis R. New insights into the antioxidant and anti-inflammatory effects of Italian *Salvia officinalis* leaf and flower extracts in lipopolysaccharide and tumor-mediated inflammation models // Antioxidants. 2021. Vol. 10, no. 2. 311. <https://doi.org/10.3390/antiox10020311>.
17. Paun G., Neagu E., Moroceanu V., Ionescu E., Radu G.L. Antioxidant, antimicrobial and in vitro anti-inflammatory activities of *Betonica officinalis* and *Salvia officinalis* extracts // Planta Medica. 2016. Vol. 82, no. S01. Pp. S1–S381. <https://doi.org/10.1055/s-0036-1596394>.
18. Capek P., Machová E., Turjan J. Scavenging and antioxidant activities of immunomodulating polysaccharides isolated from *Salvia officinalis* L // International journal of biological macromolecules. 2009. Vol. 44, no. 1. Pp. 75–80. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2008.10.007>.
19. Ezema C.A., Ezeorba T.P.C., Aguchem R.N., Okagu I.U. Therapeutic benefits of *Salvia* species: A focus on cancer and viral infection // Heliyon. 2022. Vol. 8, no. 1. e08763. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e08763>.
20. Golovchenko V.V., Popov S.V., Smirnov V.V., Khlopin V.G., Vityazev F.V., Naranmandakh S., Dmitrenok A.S., Shashkov A.S. Polysaccharides of *Salsola passerina*: extraction, structural characterization and antioxidant activity // International Journal of Molecular Sciences. 2022. Vol. 23, no. 21. 13175. <https://doi.org/10.3390/ijms232113175>.
21. Yudianti R., Karina M., Sakamoto M., Azuma J. Precise structure of acidic polysaccharide present in *Salvia* hydrogels // Wood Research Journal. 2010. Vol. 1, no. 2. Pp. 95–102. <https://doi.org/10.1234/WRJ.V1I2.172>.
22. Kong Y. Current Research Development of Polysaccharides from *Salvia* Species // World Journal of Forestry. 2013. Vol. 2(3). Pp. 24–27. <https://doi.org/10.12677/WJF.2013.23005>.
23. Liu C., Wang X., Fang J. Chemical studies on two acidic polysaccharides from *Salvia chinensis* // Chinese Traditional and Herbal Drugs. 1994. Vol. 24. wpr-571767.
24. Тоштемирова Ч.Т., Турабоев А.А., Нормахаматов Н.С., Кодиралиева Ф.А. Выделение и изучение физико-химических свойств полисахаридов из растительного сырья *Gentiana olivieri Griseb* // Химия растительного сырья. 2023. №2. С. 87–95. <https://doi.org/10.14258/jcprm.20230211777>.
25. Khalilova G.A., Turaev A.S., Mulkhitdinov B.I., Khaitmetova S.B., Normakhamatov N.S. Cytotoxic effects and anti-tumor activity of polysaccharides isolated from the fruiting body of *Ganoderma lucidum* basidial mushroom // Pharmaceutical Chemistry Journal. 2022. Vol. 56, no. 8. Pp. 1045–1048. <https://doi.org/10.1007/s11094-022-02750-8>.
26. Филиппов М.П. Инфракрасные спектры пектиновых веществ // Методы анализа пищевых продуктов. 1988. С. 198–216.
27. Арасимович В.В. Биохимические методы анализа плодов. Кишинев, 1984. 144 c.
28. Kodiralieva F.A., Rakhmanberdyeva R.K. Polysaccharides from *Crotalaria alata* // Chemistry of natural compounds. 2011. Vol. 47. Pp. 7–9. <https://doi.org/10.1007/s10600-011-9818-3>.
29. Hong T., Yin J.-Y., Nie S.-P., Xie M.-Y. Applications of infrared spectroscopy in polysaccharide structural analysis: Progress, challenge and perspective // Food chemistry: X. 2021. Vol. 12. 100168. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2021.100168>.
30. Wang Y.-X., Xin Y., Yin J.-Y., Huang X.-J., Wang J.-Q., Hu J.-L., Geng F., Nie S.-P. Revealing the architecture and solution properties of polysaccharide fractions from *Macrolepiota albuminososa* (Berk.) Pegler // Food chemistry. 2022. Vol. 368. 130772. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130772>.
31. Wan Y.-J., Hong T., Shi H.-F., Yin J.-Y., Koev T., Nie S.-P., Gilbert R.G., Xie M.-Y. Probiotic fermentation modifies the structures of pectic polysaccharides from carrot pulp // Carbohydrate Polymers. 2021. Vol. 251. 117116. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.117116>.
32. Wiercigroch E., Szafraniec E., Czamara K., Pacia M.Z., Majzner K., Kochan K., Kaczor A., Baranska M., Malek K. Raman and infrared spectroscopy of carbohydrates: A review // Spectrochimica acta part a: Molecular and Biomolecular Spectroscopy. 2017. Vol. 185. Pp. 317–335. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2017.05.045>.
33. Pasandide B., Khodaiyan F., Mousavi Z.E., Hosseini S.S. Optimization of aqueous pectin extraction from *Citrus medica* peel // Carbohydrate polymers. 2017. Vol. 178. Pp. 27–33. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.08.098>.

34. Nikonenko N.A., Buslov D.K., Sushko N.I., Zhbakov R.G. Spectroscopic manifestation of stretching vibrations of glycosidic linkage in polysaccharides // Journal of Molecular Structure. 2005. Vol. 752, no. 1-3. Pp. 20–24. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2005.05.015>.

Поступила в редакцию 9 апреля 2024 г.

После переработки 3 сентября 2024 г.

Принята к публикации 6 ноября 2024 г.

Normakhamatov N.S.^{1}, Kodiralieva F.A.², Siddikova A.A.² FEATURES OF POLYSACCHARIDES OF ARTEMISIA ANNUA L. AND SALVIA OFFICINALIS L., GROWING IN UZBEKISTAN*

¹ *Tashkent Pharmaceutical Institute, Aybeka st., 45, Tashkent, 100015, Uzbekistan, nodirali@gmail.com*

² *Acad. S.Yu. Yunusov Institute of Chemistry of Plant Substances AS RUz, Mirzo-Ulugbeka st., 77, Tashkent, 100170, Uzbekistan*

The article examines polysaccharides isolated from two medicinal plants – *Artemisia annua* L. and *Salvia officinalis* L., growing in Uzbekistan. Both plants are known for their healing properties, such as antioxidant, anti-inflammatory and antitumor activity, which makes them promising sources of biologically active compounds. In the work, the main plant polysaccharides, including water-soluble polysaccharides, pectin substances and hemicellulose, were isolated and characterized for the first time, and their monosaccharide composition was established. In the course of the work, the polysaccharides were isolated and purified, after which their structural and chemical features were studied using methods such as IR spectroscopy, titrimetry and gas-liquid chromatography. The results showed that the obtained complexes are represented by water-soluble polysaccharides (4.1–6.2%), pectin substances (4.0–8.6%), hemicellulose (1.0–5.2%) and the main components of the isolated polysaccharides are arabinose, xylose and rhamnose, which indicates their complex structure and potential biological activity.

The study revealed the neutral-acidic nature of the polysaccharides and the presence of functional groups such as carboxyl and esterified carboxyl groups, which suggests their high complexing ability. Such compounds can be used as natural antioxidants and immunostimulants, as well as for the creation of pharmaceutical and food additives.

Keywords: *Artemisia annua* L., *Salvia officinalis* L., water-soluble polysaccharides, pectins, hemicelluloses, IR spectroscopy.

For citing: Normakhamatov N.S., Kodiralieva F.A., Siddikova A.A. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2025, no. 2, pp. 74–83. (in Russ.). <https://doi.org/10.14258/jcprm.20250214984>.

References

1. Septembre-Malaterre A., Lalarizo Rakoto M., Marodon C., Bedoui Y., Nakab J., Simon E., Hoarau L., Savriama S., Strasberg D., Guiraud P., Selambarom J., Gasque P. *International journal of molecular sciences*, 2020, vol. 21, no. 14, 4986. <https://doi.org/10.3390/ijms21144986>.
2. Acquaviva A., Bouyahya A., Zengin G., Simone S.C.D., Recinella L., Leone S., Brunetti L., Uba A., Cakilcioglu U., Polat R., Darendelioglu E., Menghini L., Ferrante C., Orlando G., Libero M., Chiavaroli A. *Chemistry & Biodiversity*, 2023, vol. 20, no. 8, e202300547. <https://doi.org/10.1002/cbdv.202300547>.
3. Zhou W., Lei B., Yang C., Silva M., Xing X., Yu H., Lu J.-H., Zhang W. *International Journal of Molecular Sciences*, 2023, vol. 24, no. 6, 5259. <https://doi.org/10.3390/ijms24065259>.
4. Al-Badri N.M.B.A., Al-Zobaidy M.J. *The Egyptian Journal of Hospital Medicine*, 2022, vol. 89, no. 1, pp. 5830–5839. <https://doi.org/10.21608/ejhm.2022.266656>.
5. Hasheminia S.M., Sendi J.J., Jahromi K.T., Moharramipour S. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 2011, vol. 99, no. 3, pp. 244–249. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2010.12.009>.
6. Ghorbani A., Esmaeilizadeh M. *Journal of traditional and complementary medicine*, 2017, vol. 7, no. 4, pp. 433–440. <https://doi.org/10.1016/j.jtcme.2016.12.014>.
7. Verma M.K., Sharma S., Kumar S. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 2020, vol. 9, no. 6, pp. 2179–2183.
8. Segneanu A.E., Marin C.N., Ghirlea I.O.F., Feier C.V.I., Muntean C., Grozescu I. *Plants*, 2021, vol. 10, no. 11, 2245. <https://doi.org/10.3390/plants10112245>.
9. Wang H., Li H., Zeng F.L., Xie C.X. *Journal of Chinese Medicinal Materials*, 2015, vol. 38, no. 3, pp. 460–466.
10. Afzal-Rafii Z. *Bulletin de la Société Botanique de France*, 1976, vol. 123, no. 9, pp. 515–527. <https://doi.org/10.1080/00378941.1976.10835708>.
11. Wan X.L., Niu Y., Zheng X.C., Huang Q., Su W.P., Zhang J.F., Zhang L.L., Wang T. *Animal Feed Science and Technology*, 2016, vol. 221, pp. 27–34. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.08.017>.

* Corresponding author.

12. Kshirsagar S.G., Rao R.V. *Medicina*, 2021, vol. 57, no. 3, 217. <https://doi.org/10.3390/medicina57030217>.
13. Jin M.Y., Li M.Y., Huang R.M., Wu X.Y., Sun Y.M., Xu Z.L. *Trends in Food Science & Technology*, 2021, vol. 107, pp. 284–298. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.10.042>.
14. Yan L., Xiong C., Xu P., Zhu J., Yang Z., Ren H., Luo Q. *Carbohydrate Polymers*, 2019, vol. 213, pp. 361–369. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.02.081>.
15. Park C.Y., Choi E., Yang H.J., Ho S.H., Park S.J., Park K.M., Kim S.H. *Food Science & Nutrition*, 2020, vol. 8, no. 7, pp. 3738–3749. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1662>.
16. Brindisi M., Bouzidi C., Frattaruolo L., Loizzo M.R., Cappello M.S., Dugay A., Deguin B., Lauria G., Cappello A.R., Tundis R. *Antioxidants*, 2021, vol. 10, no. 2, 311. <https://doi.org/10.3390/antiox10020311>.
17. Paun G., Neagu E., Moroceanu V., Ionescu E., Radu G.L. *Planta Medica*, 2016, vol. 82, no. S01, pp. S1–S381. <https://doi.org/10.1055/s-0036-1596394>.
18. Capek P., Machová E., Turjan J. *International journal of biological macromolecules*, 2009, vol. 44, no. 1, pp. 75–80. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2008.10.007>.
19. Ezema C.A., Ezeorba T.P.C., Aguchem R.N., Okagu I.U. *Heliyon*, 2022, vol. 8, no. 1, e08763. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e08763>.
20. Golovchenko V.V., Popov S.V., Smirnov V.V., Khlopin V.G., Vityazev F.V., Naranmandakh S., Dmitrenok A.S., Shashkov A.S. *International Journal of Molecular Sciences*, 2022, vol. 23, no. 21, 13175. <https://doi.org/10.3390/ijms232113175>.
21. Yudianti R., Karina M., Sakamoto M., Azuma J. *Wood Research Journal*, 2010, vol. 1, no. 2, pp. 95–102. <https://doi.org/10.1234/WRJ.V1I2.172>.
22. Kong Y. *World Journal of Forestry*, 2013, vol. 2(3), pp. 24–27. <https://doi.org/10.12677/WJF.2013.23005>.
23. Liu C., Wang X., Fang J. *Chinese Traditional and Herbal Drugs*, 1994, vol. 24, wpr-571767.
24. Toshtemirova CH.T., Turaboyev A.A., Normakhamatov N.S., Kodiraliyeva F.A. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2023, no. 2, pp. 87–95. <https://doi.org/10.14258/jcprm.20230211777>. (in Russ.).
25. Khalilova G.A., Turaev A.S., Mulkhitdinov B.I., Khaitmetova S.B., Normakhamatov N.S. *Pharmaceutical Chemistry Journal*, 2022, vol. 56, no. 8, pp. 1045–1048. <https://doi.org/10.1007/s11094-022-02750-8>.
26. Filippov M.P. *Metody analiza pishchevykh produktov*, 1988, pp. 198–216. (in Russ.).
27. Arasimovich V.V. *Biokhimicheskiye metody analiza plodov*. [Biochemical methods of fruit analysis]. Kishinev, 1984, 144 p. (in Russ.).
28. Kodiraliyeva F.A., Rakhanberdyeva R.K. *Chemistry of natural compounds*, 2011, vol. 47, pp. 7–9. <https://doi.org/10.1007/s10600-011-9818-3>.
29. Hong T., Yin J.-Y., Nie S.-P., Xie M.-Y. *Food chemistry: X*, 2021, vol. 12, 100168. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2021.100168>.
30. Wang Y.-X., Xin Y., Yin J.-Y., Huang X.-J., Wang J.-Q., Hu J.-L., Geng F., Nie S.-P. *Food chemistry*, 2022, vol. 368, 130772. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130772>.
31. Wan Y.-J., Hong T., Shi H.-F., Yin J.-Y., Koev T., Nie S.-P., Gilbert R.G., Xie M.-Y. *Carbohydrate Polymers*, 2021, vol. 251, 117116. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.117116>.
32. Wiercigroch E., Szafraniec E., Czamara K., Pacia M.Z., Majzner K., Kochan K., Kaczor A., Baranska M., Malek K. *Spectrochimica acta part a: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 2017, vol. 185, pp. 317–335. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2017.05.045>.
33. Pasandide B., Khodaiyan F., Mousavi Z.E., Hosseini S.S. *Carbohydrate polymers*, 2017, vol. 178, pp. 27–33. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.08.098>.
34. Nikonenko N.A., Buslov D.K., Sushko N.I., Zhbankov R.G. *Journal of Molecular Structure*, 2005, vol. 752, no. 1-3, pp. 20–24. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2005.05.015>.

Received April 9, 2024

Revised September 3, 2024

Accepted November 6, 2024

Сведения об авторах

Нормахаматов Нодирали Сохобаталиевич – доктор химических наук, профессор, nodirali@gmail.com

Кодирайлиева Фотимахон Акбаровна – младший научный сотрудник, fatimahon.82@mail.ru

Сиддикова Азиза Абдугaffфоровна – младший научный сотрудник, siddiqovq1987@mail.ru

Information about authors

Normakhamatov Nodirali Sokhobatalievich – Doctor of Chemical Sciences, Professor, nodirali@gmail.com

Kodiraliyeva Fotimakhon Akbarovna – Junior Researcher, fatimahon.82@mail.ru

Siddikova Aziza Abdugaffforovna – Junior Researcher, siddiqovq1987@mail.ru